

Gaston Bachelard

Le nouvel esprit
scientifique



QUADRIGE / PUF

ISBN 2 13 044374 5

ISSN 0291-0489

Dépôt légal — 1^{re} édition : 1934

6^e édition « Quadrige » : 1999, mai

© Presses Universitaires de France, 1934
108, boulevard Saint-Germain, 75006 Paris

INTRODUCTION

LA COMPLEXITÉ ESSENTIELLE DE LA PHILOSOPHIE SCIENTIFIQUE

Plan de l'ouvrage

I

DEPUIS William James, on a souvent répété que tout homme cultivé suivait fatalement une métaphysique. Il nous paraît plus exact de dire que tout homme, dans son effort de culture scientifique, s'appuie non pas sur une, mais bien sur deux métaphysiques et que ces deux métaphysiques naturelles et convaincantes, implicites et tenaces, sont contradictoires. Pour leur donner rapidement un nom provisoire, désignons ces deux attitudes philosophiques fondamentales, tranquillement associées dans un esprit scientifique moderne, sous les étiquettes classiques de rationalisme et de réalisme. Veut-on tout de suite une preuve de ce paisible éclectisme ? Qu'on médite ce postulat de philosophie scientifique (1) : « La science est un produit de l'esprit humain, produit conforme aux lois de notre pensée et adapté au monde

(1) BOUTY, *La vérité scientifique*, 1908, p. 7.

extérieur. Elle offre donc deux aspects, l'un subjectif, l'autre objectif, tous deux également nécessaires, car il nous est aussi impossible de changer quoi que ce soit aux lois de notre esprit qu'à celles du Monde. » Étrange déclaration métaphysique qui peut aussi bien conduire à une sorte de rationalisme redoublé qui retrouverait, dans les lois du Monde, les lois de notre esprit, qu'à un réalisme universel imposant l'invariabilité absolue « aux lois de notre esprit » conçues comme une partie des lois du Monde !

En fait, la philosophie scientifique ne s'est pas épurée depuis la déclaration de Bouty. Il ne serait pas difficile de montrer, d'une part, que, dans ses jugements scientifiques, le rationaliste le plus déterminé accepte journellement l'instruction d'une réalité qu'il ne connaît pas à fond et que, d'autre part, le réaliste le plus intransigeant procède à des simplifications immédiates, exactement comme s'il admettait les principes informateurs du rationalisme. Autant dire que pour la philosophie scientifique, il n'y a ni réalisme ni rationalisme absolus et qu'il ne faut pas partir d'une attitude philosophique générale pour juger la pensée scientifique. Tôt ou tard, c'est la pensée scientifique qui deviendra le thème fondamental de la polémique philosophique ; cette pensée conduira à substituer aux métaphysiques intuitives et immédiates les métaphysiques discursives objectivement rectifiées. A suivre ces rectifications, on se convainc par exemple qu'un réalisme qui a rencontré le doute scientifique ne peut plus être de même espèce que le réalisme immédiat. On se convainc également qu'un rationalisme qui a corrigé des jugements *a priori*, comme ce fut le cas dans les nouvelles

extensions de la géométrie, ne peut plus être un rationalisme fermé. Il y aurait donc intérêt, croyons-nous, à prendre la philosophie scientifique en elle-même, à en juger sans idées préconçues, en dehors même des obligations trop strictes du vocabulaire philosophique traditionnel. La science crée en effet de la philosophie. Le philosophe doit donc infléchir son langage pour traduire la pensée contemporaine dans sa souplesse et sa mobilité. Il doit aussi respecter cette étrange ambiguïté qui veut que toute pensée scientifique s'interprète à la fois dans le langage réaliste et dans le langage rationaliste. Peut-être alors devrait-on prendre comme une première leçon à méditer, comme un fait à expliquer, cette impureté métaphysique entraînée par le double sens de la preuve scientifique qui s'affirme dans l'expérience aussi bien que dans le raisonnement, à la fois dans un contact avec la réalité et dans une référence à la raison.

Il semble d'ailleurs qu'on puisse donner rapidement une raison de cette base dualistique de toute philosophie scientifique : par le fait même que la philosophie de la science est une philosophie qui *s'applique*, elle ne peut garder la pureté et l'unité d'une philosophie spéculative. Quel que soit le point de départ de l'activité scientifique, cette activité ne peut pleinement convaincre qu'en quittant le domaine de base : *si elle expérimente, il faut raisonner ; si elle raisonne, il faut expérimenter*. Toute application est transcendance. Dans la plus simple des démarches scientifiques, nous montrerons qu'on peut saisir une dualité, une sorte de polarisation épistémologique qui tend à classer la phénoménologie sous la double rubrique du pittoresque et du compréhensible, autre-

ment dit, sous la double étiquette du réalisme et du rationalisme. Si nous savions, à propos de la psychologie de l'esprit scientifique, nous placer juste à la frontière de la connaissance scientifique, nous verrions que c'est à une véritable synthèse des contradictions métaphysiques qu'est occupée la science contemporaine. Toutefois le sens du *vecteur* épistémologique nous paraît bien net. Il va sûrement du rationnel au réel et non point, à l'inverse, de la réalité au général comme le professaient tous les philosophes depuis Aristote jusqu'à Bacon. Autrement dit, l'application de la pensée scientifique nous paraît essentiellement réalisante. Nous essaierons donc de montrer au cours de cet ouvrage ce que nous appellerons la réalisation du rationnel ou plus généralement la réalisation du mathématique.

D'ailleurs ce besoin d'application, quoique plus caché dans les sciences mathématiques pures, n'y est pas moins efficace. Il vient apporter dans ces sciences en apparence homogènes un élément de dualité métaphysique, un prétexte à des polémiques entre réalistes et nominalistes. Si l'on condamne trop tôt le réalisme mathématique, c'est qu'on est séduit par la magnifique extension de l'épistémologie formelle, c'est-à-dire par une sorte de fonctionnement à vide des notions mathématiques. Mais si l'on ne fait pas indûment abstraction de la psychologie du mathématicien, on ne tarde pas à s'apercevoir qu'il y a dans l'activité mathématique plus qu'une organisation formelle de schèmes et que toute idée pure est doublée d'une application psychologique, d'un exemple qui fait office de réalité. Et l'on s'aperçoit, à méditer le travail mathématicien, qu'il provient toujours d'une

extension d'une connaissance prise sur le réel et que, dans les mathématiques mêmes, la réalité se manifeste en sa fonction essentielle : faire penser. Sous une forme plus ou moins nette, dans des fonctions plus ou moins mêlées, un réalisme mathématique vient tôt ou tard *corser* la pensée, lui donner la permanence psychologique, dédoubler enfin l'activité spirituelle en faisant apparaître, là comme partout, le dualisme du subjectif et de l'objectif.

Comme nous nous proposons d'étudier surtout la philosophie des sciences physiques, c'est la réalisation du rationnel dans l'expérience physique qu'il nous faudra dégager. Cette réalisation qui correspond à un réalisme technique nous paraît un des traits distinctifs de l'esprit scientifique contemporain, bien différent à cet égard de l'esprit scientifique des siècles derniers, bien éloigné en particulier de l'agnosticisme positiviste ou des tolérances pragmatiques, sans rapport enfin avec le réalisme philosophique traditionnel. En effet, il s'agit d'un réalisme de seconde position, d'un réalisme en réaction contre la réalité usuelle, en polémique contre l'immédiat, d'un réalisme fait de raison réalisée, de raison expérimentée. Le réel qui lui correspond n'est pas rejeté dans le domaine de la chose en soi inconnaissable. Il a une tout autre richesse nouménale. Alors que la chose en soi est un noumène par exclusion des valeurs phénoménales, il nous semble bien que le réel scientifique est fait d'une texture nouménale propre à indiquer les axes de l'expérimentation. L'expérience scientifique est ainsi une raison confirmée. Ce nouvel aspect philosophique de la science prépare une rentrée du normatif dans l'expérience : la nécessité de l'expérience

étant saisie par la théorie avant d'être découverte par l'observation, la tâche du physicien est d'épurer assez le phénomène pour retrouver le noumène organique. Le raisonnement par construction que M. Goblot a dégagé dans la pensée mathématique fait son apparition dans la Physique mathématique et dans la Physique expérimentale. Toute la doctrine de l'hypothèse du travail nous paraît vouée à une prompte décadence. Dans la proportion où cette hypothèse a été reliée à l'expérience, elle doit être tenue pour aussi réelle que l'expérience. Elle est réalisée. Le temps des hypothèses décousues et mobiles est passé, comme est passé le temps des expériences isolées et curieuses. Désormais, l'hypothèse est synthèse.

Si le réel immédiat est un simple prétexte de pensée scientifique et non plus un objet de connaissance, il faudra passer du *comment* de la description au *commentaire* théorique. Cette explication prolixe étonne le philosophe qui voudrait toujours qu'une explication se borne à déplier le complexe, à montrer le simple dans le composé. Or la véritable pensée scientifique est métaphysiquement inductive ; comme nous le montrerons à plusieurs reprises, elle lit le complexe dans le simple, elle dit la loi à propos du fait, la règle à propos de l'exemple. Nous verrons avec quelle ampleur les généralisations de la pensée moderne achèvent les connaissances particulières. Nous mettrons en évidence une sorte de généralisation polémique qui fait passer la raison du *pourquoi* au *pourquoi pas*. Nous ferons place à la paralogie à côté de l'analogie et nous montrerons qu'à l'ancienne philosophie du *comme si* succède, en philosophie scientifique, la philosophie du *pourquoi pas*. Comme

le dit Nietzsche : tout ce qui est décisif ne naît que *malgré*. C'est aussi vrai dans le monde de la pensée que dans le monde de l'action. Toute vérité nouvelle naît malgré l'évidence, toute expérience nouvelle naît malgré l'expérience immédiate.

Ainsi, indépendamment des connaissances qui s'amassent et amènent des changements progressifs dans la pensée scientifique, nous allons trouver une raison de renouvellement presque inépuisable pour l'esprit scientifique, une sorte de nouveauté métaphysique essentielle. En effet, si la pensée scientifique peut jouer sur deux termes opposés, allant par exemple de l'eulidien au non-eulidien, elle est comme bordée par une aire de rénovation. Si l'on croit qu'il n'y a là que moyens d'expressions, que langages plus ou moins commodes, on attachera bien peu d'importance à cette floraison de langues nouvelles. Mais si l'on croit, comme nous essaierons de le justifier, que ces expressions sont plus ou moins expressives, plus ou moins suggestives, et qu'elles conduisent à des réalisations plus ou moins complètes, il faudra attacher un tout autre poids à ces mathématiques élargies. Nous insisterons donc sur la valeur dilemmatique des nouvelles doctrines comme la géométrie non-eulidienne, la mesure non-archimédienne, la mécanique non-newtonienne avec Einstein, la physique non-maxwellienne avec Bohr, l'arithmétique aux opérations non-commutatives qu'on pourrait désigner comme non-pythagoricienne. Nous essaierons alors, dans la conclusion philosophique de notre travail, de présenter les caractères d'une épistémologie non-cartésienne qui nous paraît consacrer vraiment la nouveauté de l'esprit scientifique contemporain.

Une remarque est d'ailleurs utile pour prévenir une méprise : il n'y a rien d'automatique dans ces négations et l'on ne devra pas espérer trouver une sorte de conversion simple qui puisse faire rentrer logiquement les nouvelles doctrines dans le cadre des anciennes. Il s'agit bien d'une extension véritable. La géométrie non-euclidienne n'est pas faite pour contredire la géométrie euclidienne. Elle est plutôt une sorte de facteur adjoint qui permet la totalisation, l'achèvement de la pensée géométrique, l'absorption dans une pangéométrie. Constituée en bordure de la géométrie euclidienne, la géométrie non-euclidienne dessine du dehors, avec une lumineuse précision, les limites de l'ancienne pensée. Il en sera de même pour toutes les formes nouvelles de la pensée scientifique qui viennent après coup projeter une lumière récurrente sur les obscurités des connaissances incomplètes. Tout le long de notre enquête, nous trouverons les mêmes caractères d'extension, d'inférence, d'induction, de généralisation, de complément, de synthèse, de totalité. Autant de substituts de l'idée de nouveauté. Et cette nouveauté est profonde, car ce n'est pas la nouveauté d'une trouvaille, mais la nouveauté d'une méthode.

Devant cette floraison épistémologique, faut-il continuer de parler d'une Réalité lointaine, opaque, massive, irrationnelle ? C'est oublier que le Réel scientifique est déjà en rapport dialectique avec la Raison scientifique. Après un dialogue qui dure depuis tant de siècles entre le Monde et l'Esprit, on ne peut plus parler d'expériences muettes. Pour interdire radicalement les conclusions d'une théorie, il faut que l'expérience nous expose les raisons de son

opposition. Le physicien n'est pas aisément découragé par une expérience négative. Michelson est mort sans trouver les conditions qui auraient, d'après lui, redressé son expérience relative à la détection de l'éther. Sur la base même de cette expérience négative, d'autres physiciens ont subtilement décidé que cette expérience négative dans le système de Newton était positive dans le système d'Einstein. Ils ont précisément réalisé, sur le plan de l'expérience, la philosophie du *pourquoi pas*. Ainsi, une expérience bien faite est toujours positive. Mais cette conclusion ne réhabilite pas la positivité absolue de l'expérience tout court, car une expérience ne peut être une expérience bien faite que si elle est complète, ce qui n'arrive que pour l'expérience précédée d'un projet bien étudié à partir d'une théorie achevée. Finalement les conditions expérimentales sont des conditions d'expérimentation. Cette simple nuance donne un aspect tout nouveau à la philosophie scientifique puisqu'elle met l'accent sur les difficultés techniques qu'il y a à réaliser un projet théorique préconçu. Les enseignements de la réalité ne valent qu'autant qu'ils suggèrent des réalisations rationnelles.

Ainsi, dès qu'on médite l'action scientifique, on s'aperçoit que le réalisme et le rationalisme échangent sans fin leurs conseils. Ni l'un ni l'autre isolément ne suffit à constituer la preuve scientifique ; dans le règne des sciences physiques, il n'y a pas de place pour une intuition du phénomène qui désignerait d'un seul coup les fondements du réel ; pas davantage pour une conviction rationnelle — absolue et définitive — qui imposerait des catégories fondamentales à nos méthodes de recherches expérimentales. Il y a là

une raison de nouveauté méthodologique que nous aurons à mettre en lumière ; les rapports entre la théorie et l'expérience sont si étroits qu'aucune méthode, soit expérimentale, soit rationnelle, n'est assurée de garder sa valeur. On peut même aller plus loin : une méthode excellente finit par perdre sa fécondité si on ne renouvelle pas son objet.

C'est donc bien à la croisée des chemins que doit se placer l'épistémologue, entre le réalisme et le rationalisme. C'est là qu'il peut saisir le nouveau dynamisme de ces philosophies contraires, le double mouvement par lequel la science simplifie le réel et complique la raison. Le trajet est alors écourté qui va de la réalité expliquée à la pensée appliquée. C'est dans ce court trajet qu'on doit développer toute la pédagogie de la preuve, pédagogie qui est, comme nous l'indiquerons dans notre dernier chapitre, la seule psychologie possible de l'esprit scientifique.

D'une manière plus générale encore, n'y a-t-il pas un certain intérêt à porter le problème métaphysique essentiel de la réalité du monde extérieur sur le domaine même de la réalisation scientifique ? Pourquoi partir toujours de l'opposition entre la Nature vague et l'Esprit fruste et confondre sans discussion la pédagogie de l'initiation avec la psychologie de la culture ? Par quelle audace, sortant du moi, va-t-on recréer le Monde en une heure ? Comment aussi prétendre saisir un moi simple et dépouillé, en dehors même de son action essentielle dans la connaissance objective ? Pour nous désintéresser de ces questions élémentaires, il nous suffira de doubler les problèmes de la science par les problèmes de la psychologie de l'esprit scientifique, de prendre l'objec-

tivité comme une tâche pédagogique difficile et non plus comme une donnée primitive.

D'ailleurs c'est peut-être dans l'activité scientifique qu'on voit le plus clairement le double sens de l'idéal d'objectivité, la valeur à la fois réelle et sociale de l'objectivation. Comme le dit M. Lalande, la science ne vise pas seulement à « l'assimilation des choses entre elles, mais aussi et avant tout à l'assimilation des esprits entre eux ». Sans cette dernière assimilation, il n'y aurait pour ainsi dire pas de problème. Devant le réel le plus complexe, si nous étions livrés à nous-mêmes, c'est du côté du pittoresque, du pouvoir évocateur que nous chercherions la connaissance : *le monde serait notre représentation*. Par contre, si nous étions livrés tout entiers à la société, c'est du côté du général, de l'utile, du convenu, que nous chercherions la connaissance : *le monde serait notre convention*. En fait, la vérité scientifique est une prédiction, mieux, une prédication. Nous appelons les esprits à la convergence en annonçant la nouvelle scientifique, en transmettant du même coup une pensée et une expérience, liant la pensée à l'expérience dans une vérification : *le monde scientifique est donc notre vérification*. Au-dessus du *sujet*, au-delà de l'*objet* immédiat, la science moderne se fonde sur le *projet*. Dans la pensée scientifique, la méditation de l'objet par le sujet prend toujours la forme du projet.

On se tromperait d'ailleurs si l'on tirait argument de la rareté de la découverte effective le long de l'effort prométhéen. Car c'est même dans la pensée scientifique la plus humble qu'apparaît cette préparation théorique indispensable. Dans un livre précédent, nous n'hésitions pas à écrire : on démontre le

réel, on ne le montre pas. C'est surtout vrai quand il s'agit de mettre en œuvre un phénomène organique. En effet, dès que l'objet se présente comme un complexe de relations il faut l'appréhender par des méthodes multiples. L'objectivité ne peut se détacher des caractères sociaux de la preuve. On ne peut arriver à l'objectivité qu'en exposant d'une manière discursive et détaillée une méthode d'objectivation.

Mais cette thèse de la démonstration préalable que nous croyons à la base de toute connaissance objective, combien elle est évidente dans le domaine scientifique ! Déjà l'observation a besoin d'un *corps* de précautions qui conduisent à réfléchir avant de regarder, qui réforment du moins la première vision, de sorte que ce n'est jamais la première observation qui est la bonne. L'observation scientifique est toujours une observation polémique ; elle confirme ou infirme une thèse antérieure, un schéma préalable, un plan d'observation ; elle montre en démontrant ; elle hiérarchise les apparences ; elle transcende l'immédiat ; elle reconstruit le réel après avoir reconstruit ses schémas. Naturellement, dès qu'on passe de l'observation à l'expérimentation, le caractère polémique de la connaissance devient plus net encore. Alors il faut que le phénomène soit trié, filtré, épuré, coulé dans le moule des instruments, produit sur le plan des instruments. Or les instruments ne sont que des théories matérialisées. Il en sort des phénomènes qui portent de toutes parts la marque théorique.

Entre le phénomène scientifique et le noumène scientifique, il ne s'agit donc plus d'une dialectique lointaine et oisive, mais d'un mouvement alternatif qui, après quelques rectifications des projets, tend

toujours à une réalisation effective du noumène. La véritable phénoménologie scientifique est donc bien essentiellement une phénoménotechnique. Elle renforce ce qui transparaît derrière ce qui apparaît. Elle s'instruit par ce qu'elle construit. La raison thaumaturge dessine ses cadres sur le schéma de ses miracles. La science suscite un monde, non plus par une impulsion magique, immanente à la réalité, mais bien par une impulsion rationnelle, immanente à l'esprit. Après avoir formé, dans les premiers efforts de l'esprit scientifique, une raison à l'image du monde, l'activité spirituelle de la science moderne s'attache à construire un monde à l'image de la raison. L'activité scientifique réalise, dans toute la force du terme, des ensembles rationnels.

C'est peut-être dans cette activité de l'idée technique qu'on prend la meilleure mesure de la dichotomie philosophique essentielle, résumée dans le deuxième dilemme métaphysique de Renouvier sous le nom de dilemme de la substance. Ce dilemme est d'une importance décisive car il entraîne tous les autres. Renouvier l'énonce ainsi : ou bien « la substance est... un sujet logique de qualités et de relations indéfinissables », ou bien la « substance est un être en soi, et, en tant qu'en soi, indéfinissable, inconnais-sable (1) ». Or entre les deux termes du dilemme, la science technique vient, nous semble-t-il, d'introduire un troisième terme : le substantif substantialisé. D'une manière générale, le substantif, sujet logique, devient substance dès que le système de ses qualités

(1) RENOUVIER, *Les dilemmes de la métaphysique pure*, p. 248.

est unifié par un rôle. Nous verrons la pensée scientifique constituer ainsi les totalités qui prendront une unité par des fonctions décisives. Par exemple, un groupement d'atomes dans une substance de la chimie organique obtenue par synthèse est fort propre à nous faire comprendre ce passage de la chimie logique à la chimie substantialiste, du premier sens renouviériste au second. Ainsi la dialectique de la science physique, par le fait même qu'elle joue entre des pôles plus rapprochés, moins hétérogènes, nous paraît plus instructive que les dialectiques massives de la philosophie traditionnelle. C'est vraiment la pensée scientifique qui permet d'étudier le plus clairement le problème psychologique de l'objectivation.

II

Saisir la pensée scientifique contemporaine dans sa dialectique et en montrer ainsi la nouveauté essentielle, tel est le but philosophique de ce petit livre. Ce qui nous a frappé de prime abord, c'est que l'unité de la science, si souvent alléguée, ne correspondait jamais à un état stable et qu'il était par conséquent bien dangereux de postuler une épistémologie unitaire. Non seulement l'histoire scientifique fait apparaître un rythme alternatif d'atomisme et d'énergétique, de réalisme et de positivisme, de discontinu et de continu, de rationalisme et d'empirisme, non seulement la psychologie du savant oscille, dans son effort quotidien, entre l'identité des lois et la diversité des choses, mais encore c'est sur chaque thème que la pensée scientifique se divise en droit et en fait. Nous

n'avons donc eu nulle peine à accumuler les chapitres qui illustrent cette dichotomie. Nous pourrions même les morceler et alors, dans chacun de ses caractères, la Réalité scientifique nous apparaîtrait comme le point de concours de deux perspectives philosophiques, une rectification empirique étant toujours jointe à une précision théorique ; ainsi on purifie un corps chimique en précisant sa fonction chimique ; c'est dans la proportion où cette fonction est nette que le corps qu'elle caractérise est pur.

Cette dialectique où nous invite le phénomène scientifique pose-t-elle un problème métaphysique à l'esprit de synthèse ? C'est là une question que nous n'avons pas été capable de résoudre clairement. Naturellement sur toutes les questions en litige, nous avons indiqué les conditions de la synthèse toutes les fois qu'une conciliation, soit expérimentale, soit théorique, semblait possible. Mais cette conciliation nous a paru être toujours un compromis. D'ailleurs, et c'est pour nous le point essentiel, cette conciliation n'efface pas le dualisme inscrit dans l'histoire de la science, dans tout développement pédagogique, dans la pensée même. Des dualités d'aspect dans le phénomène immédiat pourraient peut-être s'effacer : on mettrait au compte de nuances fugitives, d'illusions momentanées, ce qui contredit l'identité du phénomène. Il ne peut en être de même quand on trouve la trace de cette ambiguïté dans le phénomène scientifique. C'est au point que nous proposerons une sorte de pédagogie de l'ambiguïté pour donner à l'esprit scientifique la souplesse nécessaire à la compréhension des nouvelles doctrines. Ainsi des principes épistémologiques vraiment nouveaux nous semblent devoir

s'introduire dans la philosophie scientifique contemporaine. Telle serait, par exemple, l'idée que les caractères complémentaires doivent être inscrits dans l'essence de l'être, en rupture avec cette tacite croyance que l'être est toujours le signe de l'unité. En effet, si l'être en soi est un principe qui se communique à l'esprit — tout de même qu'un point matériel entre en relation avec l'espace par un champ d'action — il ne saurait être le symbole d'une unité. Il conviendrait donc de fonder une ontologie du complémentaire moins âprement dialectique que la métaphysique du contradictoire.

III

Sans prétendre, bien entendu, établir la métaphysique qui doit servir de base à la Physique moderne, on peut entreprendre de dégager l'assouplissement des philosophies usuelles devant la Réalité de laboratoire. De toute évidence, le savant ne peut plus être réaliste ou rationaliste à la manière des philosophes qui croyaient pouvoir se placer d'emblée devant l'Être saisi, ou bien dans sa prolixité externe, ou bien dans son unité intime. Pour le savant, l'Être n'est saisi en un bloc ni par l'expérience ni par la raison. Il faut donc que l'épistémologie rende compte de la synthèse plus ou moins mobile de la raison et de l'expérience, quand bien même cette synthèse se présenterait philosophiquement comme un problème désespéré.

Nous étudierons d'abord, dans un premier chapitre, la séparation dialectique de la pensée et la synthèse

subséquent, en nous plaçant à la naissance de la géométrie non-euclidienne. Nous ferons ce chapitre aussi court que possible puisque notre but est simplement de présenter, sous sa forme la plus simple, la plus pure, le jeu dialectique de la raison.

Nous nous attacherons en second lieu à rappeler, toujours dans le même esprit d'instruction dialectique, l'apparition de la mécanique non-newtonienne.

Nous en viendrons ensuite à des questions moins générales et plus difficiles. Nous traiterons successivement les problèmes dilemmatiques suivants : Matière et Rayonnement — Corpuscules et Ondes — Déterminisme et Indéterminisme.

Nous verrons que ce dernier dilemme trouble profondément notre conception du réel et donne à cette conception une étrange ambivalence. Nous pourrions alors nous demander si l'épistémologie cartésienne, tout entière appuyée sur la référence aux idées simples, peut suffire à caractériser la pensée scientifique présente. Nous verrons que l'esprit de synthèse qui anime la science moderne a, à la fois, une tout autre profondeur et une tout autre liberté que la *composition* cartésienne. Nous essaierons de montrer que cet esprit de large et libre synthèse met en œuvre le même jeu dialectique que le jeu initial des géométries non-euclidiennes. Nous intitulerons donc ce chapitre de conclusion : l'épistémologie non-cartésienne.

Nous saisissons toutes les occasions pour insister de page en page sur le caractère novateur de l'esprit scientifique contemporain. Souvent ce caractère novateur sera suffisamment marqué par le simple rapprochement de deux exemples dont l'un sera pris dans la

physique du xviii^e ou du xix^e siècle et l'autre dans la physique du xx^e siècle. De cette manière, on verra que dans le détail des connaissances comme dans la structure générale du savoir, la science physique contemporaine se présente avec une incontestable nouveauté.

CHAPITRE PREMIER

LES DILEMMES DE LA PHILOSOPHIE GÉOMÉTRIQUE

NOUS ne pouvons espérer retracer en un court chapitre et sous une forme élémentaire la prodigieuse évolution de la philosophie géométrique depuis un siècle. Cependant comme la dialectique et la synthèse sont plus claires, plus systématiques dans la pensée géométrique que dans toute autre pensée scientifique, il nous faut essayer de caractériser, de ce point de vue dialectique et synthétique, la division et l'élargissement de la pensée géométrique. Pour cela nous devons examiner successivement deux problèmes, en soulignant la réforme psychologique qu'ils impliquent.

1^o Nous devons mettre en évidence le jeu dialectique qui a fondé le non-euclidisme, jeu qui revient à *ouvrir* le rationalisme, à écarter cette psychologie d'une raison close, fermée sur des axiomes immuables ;

2^o Nous devons indiquer les conditions de la synthèse entre les géométries différentes, ce qui nous conduira à dégager en premier lieu les thèmes de correspondances entre les géométries et en second lieu les caractères de l'idée de groupe.

Comme cette idée de groupe fait peu à peu son apparition dans la mécanique et dans la physique,

nous serons amenés à examiner, d'un point de vue très synthétique, la cohérence expérimentale et théorique de la pensée géométrique. Il nous semble que le problème épistémologique posé par l'emploi des géométries non-euclidiennes dans la Physique mathématique diffère grandement du problème logique primitif. A cet égard « l'erreur philosophique » de Poincaré nous paraît fournir une mesure de la réforme psychologique réalisée par le nouveau siècle scientifique. Nous exposerons donc cette « erreur » dans le troisième paragraphe de ce chapitre.

I

Avant d'arriver à la période de trouble, rappelons d'abord la longue unité de la pensée géométrique : à partir d'Euclide et pendant deux mille ans, la géométrie reçoit sans doute des adjonctions nombreuses, mais la pensée fondamentale reste la même et l'on peut croire que cette pensée géométrique fondamentale est le fond de la raison humaine. C'est sur le caractère immuable de l'architecture de la géométrie que Kant fonde l'architectonique de la raison. Si la géométrie se divise, le kantisme ne peut être sauvé qu'en inscrivant des principes de division dans la raison elle-même, qu'en *ouvrant* le rationalisme. Sans doute un hégélianisme mathématique serait un non-sens historique ; on ne peut cependant manquer d'être frappé du fait que des tendances dialectiques apparaissent à peu près en même temps dans la philosophie et dans la science. Il y a là une sorte de destin de la raison humaine. Comme le dit Halsted, « la découverte de la géométrie

non-euclidienne, vers 1830, était inévitable ». Voyons rapidement comment cette découverte se prépare à la fin du XVIII^e siècle, sans que d'ailleurs la nature épistémologique du problème soit d'abord aperçue.

En effet d'Alembert considère la *demande* d'Euclide relative au parallélisme comme un *théorème* à démontrer. Que ce théorème corresponde à une vérité, à un fait mathématique, personne n'en doute alors. Autrement dit, pour tous les géomètres jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, les parallèles *existent* ; l'expérience usuelle légitime cette notion directement aussi bien que par ses conséquences indirectes. Ce qui paraît manquer, ce qui fait scandale, c'est qu'on n'ait pu encore coordonner ce théorème simple à l'ensemble des théorèmes démontrés. On ne met jamais en doute l'existence des parallèles. Là encore, le réalisme prématuré est une méconnaissance profonde de la nature du problème.

Cette méconnaissance persiste alors même que s'ouvre la voie de la découverte. Ainsi, c'est encore devant un théorème à démontrer, une vérité à établir, un fait à légitimer que se placent Saccheri et Lambert au XVIII^e siècle, Taurinus et de Tilly beaucoup plus tard au XIX^e siècle. Mais cependant l'élément du doute essentiel fait avec eux son apparition, encore que ce doute ne soit d'abord qu'une sorte de méthode. Ces mathématiciens se demandent en effet ce qu'il adviendrait si l'on abandonnait ou si l'on modifiait la notion de parallèle. Leur méthode dépasse légèrement la portée d'un raisonnement par l'absurde. En effet, Lambert ne se borne pas à coordonner les conclusions bizarres — reconnaissant par exemple l'influence d'une modification de la proposition euclidienne sur

la surface du triangle — mais encore il entrevoit que la logique peut être satisfaite par un développement non-euclidien prolongé ; il en trouve la preuve dans l'analogie des droites contenues dans un plan et des grands cercles contenus dans une surface sphérique. Dans l'un et l'autre cas, plusieurs théorèmes s'enchaînent de la même manière. On voit donc se constituer une chaîne logique indépendante de la nature des chaînons. D'une façon encore plus précise, Taurinus remarque que « les grands cercles sur la sphère ont des propriétés très semblables à celles des droites dans le plan, à part la propriété exprimée dans le sixième postulat d'Euclide : deux droites ne peuvent enclore un espace (1) », ce dernier postulat étant souvent pris comme une forme équivalente du postulat classique sur la parallèle.

Ces simples remarques, ces formes toutes premières du non-euclidisme nous permettent déjà de dégager l'idée philosophique générale de la nouvelle liberté mathématique. En effet, on peut déjà se rendre compte que le rôle des entités prime leur *nature* et que l'essence est contemporaine de la relation. Ainsi, on comprendra le problème posé par la demande d'Euclide quand on considérera véritablement le rôle des droites dans un plan et non plus leur nature d'absolu ou d'être, quand on saura, en variant l'application, généraliser la fonction de la notion de droite dans un plan, quand on s'instruira sur le prolongement des notions en dehors de leur domaine de base. Alors la simplicité ne sera plus, comme le pose l'épistémologie cartésienne, la qualité intrin-

(1) BARBARIN, *La géométrie non-euclidienne*, 3^e éd., p. 8.

sèque d'une notion, mais seulement une propriété extrinsèque et relative, contemporaine de l'application, saisie dans une relation particulière. On pourrait dire d'une manière paradoxale que le point de départ du non-euclidisme réside dans l'épuration d'une notion pure, dans la simplification d'une notion simple. En effet, en approfondissant la remarque de Taurinus, on arrive à se demander si la droite *avec* parallèle ne correspond pas à une droite spéciale, à une droite trop riche, bref à une notion déjà composée, puisque, du point de vue fonctionnel, le grand cercle, analogue sur la sphère à la droite sur le plan, ne tolère pas le parallélisme. C'est précisément ce qu'exprime M. Barbarin en rappelant que dès 1826, Taurinus formulait l'opinion que « si le cinquième postulat d'Euclide n'est pas vrai, c'est qu'il y a probablement des surfaces courbes sur lesquelles certaines lignes courbes ont des propriétés analogues à celles des droites sur le plan, à part la propriété énoncée dans le cinquième postulat, divination hardie que la découverte de la *pseudosphère* par Beltrami quarante ans plus tard, devait justifier (1) ». Par la suite, quand on considérera les droites comme les géodésiques d'un plan euclidien, on ne fera que revenir à cette idée directrice de Taurinus qui consiste à mettre les notions mathématiques dans une atmosphère de plus large extension — et corrélativement de moins grande compréhension — et à ne prendre les notions que par leur rôle fonctionnel strictement défini.

Il ne faudrait d'ailleurs pas se hâter de faire passer le réalisme mathématique de la ligne à la surface et

(1) BARBARIN, *loc. cit.*, p. 7.

s'imaginer que c'est l'appartenance d'une ligne à une surface qui donne seule la réalité à la ligne. Le problème du réalisme mathématique est plus caché, plus indirect, plus lointain, plus abstrait. On dirait plus exactement que la réalité d'une ligne se fortifie par la multiplicité de ses appartenances à des surfaces variées, mieux encore, que l'essence d'une notion mathématique se mesure aux possibilités de déformation qui permet d'étendre l'application de cette notion. D'une manière générale, ce qui se retrouve vraiment le même dans les applications les plus diverses, voilà ce qui peut servir de fonds pour la définition de la réalité matérielle. Il en va tout de même quand on va à la recherche de la réalité mathématique. Un trait doit alors être souligné ici : c'est que la mesure du réalisme mathématique se prend sur l'extension des notions plutôt que sur leur compréhension : la ligne géodésique a plus de réalité que la ligne droite. La pensée mathématique prend son essor avec l'apparition des idées de transformation, de correspondance, d'application variée. Or n'est-ce point dans le jeu dialectique que l'extension atteint son empan maximum et que la transformation unit les formes les plus étrangères ? C'est par ce jeu que l'esprit peut mesurer son emprise sur la réalité mathématique. Mettons donc en lumière maintenant ce qu'il y a de décisif dans la révolution non-euclidienne.

Comparées aux recherches de Lambert, les constructions de Lobatchewsky et de Bolyai se présentent dans une dialectique plus franche, car la chaîne des théorèmes qui découlent du choix non-euclidien de l'axiome des parallèles s'étend de plus en plus et se

libère du guide des analogies. On peut dire que, pendant vingt-cinq ans, Lobatchewsky s'est occupé plutôt à étendre sa géométrie qu'à la fonder. Aussi bien, on ne pouvait la fonder qu'en l'étendant. Il semble que Lobatchewsky veuille prouver le mouvement en marchant. Pouvait-il escompter une contradiction manifeste en prolongeant ainsi les déductions à partir d'une supposition qu'on pouvait de prime abord qualifier d'absurde ? C'est là une question qui soulève des problèmes sans nombre, aux confins de l'épistémologie et de la psychologie. En stricte position épistémologique, on a coutume d'exposer l'origine du non-euclidisme de la manière suivante :

Puisqu'on n'arrive pas à démontrer directement la proposition d'Euclide, prenons-la comme une vérité à établir par l'absurde. Remplaçons donc cette proposition par la proposition contraire. Tirons des conclusions du tableau des postulats ainsi modifié. Ces conclusions ne peuvent manquer d'être contradictoires. Dès lors, puisque le raisonnement est bon, c'est la proposition prise comme base qui est fautive. Il faut donc bien rétablir la proposition d'Euclide qui est ainsi validée.

Or ce résumé épistémologique paraît bien vite manquer de fidélité quand on parcourt la Pangéométrie de 1855. En effet, non seulement on s'aperçoit que la contradiction ne survient pas, mais encore on ne tarde pas à se sentir devant une déduction *ouverte*. Alors qu'un problème traité par l'absurde se dirige assez rapidement vers une conclusion où l'absurdité se manifeste, l'œuvre déductive issue de la dialectique lobatchewskienne se constitue de plus en plus solidement dans l'esprit du lecteur. Psychologiquement

parlant, il n'y a pas plus de raison d'attendre la contradiction avec Lobatchewsky qu'avec Euclide. Cette équivalence sera sans doute établie techniquement par la suite grâce aux travaux de Klein, de Poincaré ; mais elle joue déjà sur le terrain psychologique. Il n'y a là qu'une faible nuance, négligée par les philosophes qui jugent sur les résultats définitifs. Cependant, si l'on veut pénétrer l'esprit scientifique dans sa dialectique nouvelle, il faut vivre cette dialectique sur le plan psychologique, comme une réalité psychologique, en s'instruisant dans la formation première des pensées complémentaires.

En résumé, tout psychologue de l'esprit scientifique doit vivre effectivement cet étrange *dédoublement de la personnalité géométrique* qui s'est effectué au cours du siècle dernier dans la culture mathématique. On comprendra alors que les thèses plus ou moins sceptiques du « conventionalisme mathématique » traduisent bien mal la dialectique violente des diverses pensées géométriques.

Naturellement, les problèmes qui touchent à la généralité des notions mathématiques se présentent sous un tout autre aspect quand on a vécu la dialectique géométrique essentielle. Dans une lettre adressée à de Tilly en 1870, Houël caractérise cette généralité par une comparaison analytique ingénieuse (1) : « Les euclidiens (ont) cru que l'on niait leur géométrie, tandis qu'on ne faisait que la généraliser, Lobatchewsky et Euclide pouvant fort bien

(1) Voir *Bulletin des sciences mathématiques*, février 1926, p. 53.

s'accorder ensemble. La géométrie généralisée... est une méthode analogue à celle que suivrait un analyste qui, venant de trouver l'intégrale générale de l'équation différentielle d'un problème, discuterait cette intégrale *avant* de particulariser la constante d'après les données du problème, ce qui ne serait en aucune façon nier que la constante arbitraire doive recevoir finalement telle ou telle valeur particulière. Quant aux euclidiens arriérés, à ceux qui cherchent des démonstrations du Postulatum, je ne puis mieux les comparer qu'à ceux qui chercheraient dans l'équation différentielle elle-même la détermination de la constante d'intégration. » Excellente comparaison qui donne une idée de la valeur synthétique de l'axiomatique : une équation différentielle s'obtient en éliminant les constantes arbitraires ; son intégrale générale condense toutes les possibilités ; la pangéométrie élimine les suppositions arbitraires, ou plutôt elle les neutralise par le seul fait qu'elle tente de donner un tableau systématique de toutes les suppositions. Elle procède d'une pensée complémentaire. On retrouvera la géométrie euclidienne, à sa place, dans un ensemble, comme un cas particulier.

La multiplicité des géométries contribue en quelque sorte à *déconcrétiser* chacune d'elles. Le réalisme passe de l'une à l'ensemble. Après avoir montré le rôle initial de la dialectique dans la pensée géométrique, il nous faut donc étudier le caractère synthétique et cohérent qui est le propre des dialectiques exactes et complètes.

II

Cette cohérence, seule base possible du réalisme on ne la trouvera pas en creusant une forme particulière, en multipliant par exemple les efforts d'intuition sur un problème euclidien. On doit la chercher dans ce qu'il y a de commun dans les géométries contraires. Il faut étudier la correspondance établie entre ces géométries. C'est en faisant correspondre les géométries que la pensée mathématique prend une réalité. De cette manière, on connaît la forme mathématique par ses transformations. On pourrait dire à l'être mathématique : dis-moi comment l'on te transforme, je te dirai qui tu es. Comme on le sait, l'équivalence des diverses images géométriques a été définitivement établie quand on eut trouvé que les unes et les autres correspondaient à une même forme algébrique. Cette correspondance fixée, une contradiction n'était pas plus à craindre dans le système de Lobatchewsky que dans le système d'Euclide, puisqu'une contradiction géométrique d'origine quelconque se répercuterait dans la forme algébrique et de là dans toutes les autres géométries en correspondance. La clé de voûte de l'évidence, c'est donc la forme algébrique. En somme l'algèbre amasse toutes les relations et rien que les relations. C'est en tant que relations que les diverses géométries sont équivalentes. C'est en tant que relations qu'elles ont une réalité et non par référence à un objet, à une expérience, à une image de l'intuition. Essayons donc de montrer, d'une part, la déconcrétisation des notions de base et, d'autre part, la concrétisation des relations entre ces notions décolorées.

En ce qui concerne le premier processus, référons-nous à des pages profondes que M. Juvet a écrites sur l'axiomatique (1). M. Juvet indique d'abord que la physique part de notions bien éloignées de l'expérience immédiate et il montre que ces notions sont progressivement épurées, schématisées, bien loin d'être intuitivement enrichies par la pensée théorique. La physique atteint ainsi à ses théories les plus évoluées et les plus complètes en réduisant la compréhension des notions à la juste mesure des attributs visibles dans leur extension. « C'est en dépouillant davantage encore ces notions de leurs attributs qu'il a été possible d'éviter ces antinomies provenant des trop riches compréhensions qu'on leur accordait d'abord. » Pour la géométrie, ce dépouillement va si loin qu'on a proposé de proscrire toute évocation de l'expérience et M. Juvet rappelle le point de départ de l'axiomatique de Hilbert :

« Il existe trois catégories d'objets que nous appellerons, pour la première A, B, C ..., pour la deuxième, a, b, c ..., et pour la troisième, α , β , γ ... Il se trouve plus tard que les grandes lettres représentent les points, les petites, les droites, et les lettres grecques, les plans de la géométrie élémentaire. » (*Loc. cit.*, p. 158.) On a donc bien pris toutes les précautions pour que la compréhension des objets soit, si l'on peut dire, une compréhension par en dessus et non point par en dessous comme l'était la compréhension d'origine substantielle. Autrement dit encore, il s'agit de qualités uniquement relationnelles et nullement substantielles.

(1) JUVET, *La structure des nouvelles théories physiques*, 1933, p. 157.

Mais si ce ne sont pas les objets qui possèdent en eux la racine des relations, si ces objets ne reçoivent que *plus tard* des propriétés avec les relations imposées, on doit se demander avec d'autant plus de soin d'où proviennent ces relations. Ici règne encore une grande contingence puisque l'indépendance des postulats chargés de relier les objets doit être absolue et que tout postulat doit pouvoir être remplacé par le postulat contraire. Une relation unique ne peut donc fournir la base d'un réalisme, dès qu'on se défend de tirer d'une réalité substantielle quelconque l'obligation de préférer une relation à la relation contraire. Cependant si un amas de relations manifeste une cohérence, cette pensée de cohérence va peu à peu se doubler d'un besoin de complétude qui déterminera des adjonctions. Il y a là une démarche synthétique qui tend à achever le corps des relations : c'est alors que la pensée géométrique donne l'impression d'une totalité et c'est alors seulement que la cohérence de la pensée semble se doubler d'une cohésion objective. Nous tenons là le point où apparaît le réel mathématique. Ce réel n'est point contemporain des « objets premiers », pas davantage des relations prises une à une. Mais quand les relations déjà nombreuses réclament un complément, on peut saisir en action la fonction épistémologique essentielle à toute réalisation.

En effet, qu'est-ce que la croyance à la réalité, qu'est-ce que l'idée de réalité, quelle est la fonction métaphysique primordiale du réel ? C'est essentiellement la conviction qu'une entité dépasse son donné immédiat, ou, pour parler plus clairement, c'est la conviction que l'on trouvera plus dans le réel caché que dans le donné évident. Naturellement, c'est dans

le domaine mathématique que cette fonction réalisante joue avec le plus de délicatesse ; c'est dans ce domaine qu'elle est le plus difficile à dégager, mais c'est là aussi qu'il serait le plus instructif de la saisir. Qu'on parte donc du nominalisme hilbertien ; qu'on accepte pour un instant le formalisme absolu ; tous ces beaux objets de la géométrie, toutes ces belles formes, effaçons-les de notre souvenir, les choses ne sont plus que des lettres ! Qu'on se soumette ensuite à un conventionalisme absolu : toutes ces claires relations ne sont que des syllabes qui s'associent d'une manière strictement abracadabrante ! Et voilà résumées, symbolisées, épurées toutes les mathématiques ! Mais voici alors l'effort poétique des mathématiciens, l'effort créateur, réalisateur : subitement, par une inflexion révélatrice, les syllabes associées forment un mot, un vrai mot, qui parle à la Raison et qui trouve, dans la Réalité, une chose à évoquer. Cette soudaine valeur sémantique est d'essence totalitaire ; elle apparaît avec la phrase achevée, non point avec la racine. Ainsi, au moment où la notion se présente comme une totalité, elle joue le rôle d'une réalité. Lisant quelques pages du formulaire de Peano, Poincaré se plaignait de ne point comprendre le péanien. C'est parce qu'il le prenait à la lettre dans le décousu des conventions, comme un vocabulaire, sans vouloir l'employer réellement. Il suffit d'appliquer les formules de Peano pour sentir qu'elles doublent la pensée, qu'elles l'entraînent en la régularisant, sans qu'on sache bien où réside la force d'entraînement psychologique car la dialectique de la forme et de la matière joue plus profondément qu'on ne le croit dans toutes nos pensées. En tout cas cette force

d'entraînement existe. Cette transcendance poétique du péanien serait sans doute difficile à explorer si nous n'avions pas déjà vécu la pensée mathématique sur le plan de l'expérience commune. Comme le fait très justement remarquer M. Juvet (1), « en construisant une axiomatique, on cherche à ne pas avoir l'air d'utiliser ce que la science qu'on fonde a déjà appris, mais vraiment ce n'est qu'à propos de choses connues qu'on établit une axiomatique ». Il n'en est pas moins vrai que la pensée mathématique nouvelle correspond à un dédoublement caractéristique. Désormais une axiomatique *accompagne* le développement scientifique. On a écrit l'accompagnement après la mélodie, mais le mathématicien moderne joue des deux mains. Et c'est là un jeu entièrement nouveau ; il nécessite des plans de conscience divers, un inconscient affecté mais agissant. C'est beaucoup trop simple de répéter sans cesse que le mathématicien ne sait pas de quoi il parle ; en réalité, il affecte de ne le point savoir ; il doit parler comme s'il ne le savait pas ; il *refoule* l'intuition ; il *sublime* l'expérience. L'euclidisme reste la pensée ingénue, celle qui servira toujours de base à la généralisation. « C'est d'ailleurs une chose extrêmement remarquable, observe M. Buhl (2), qu'il suffise de légèrement approfondir certains aspects de la géométrie euclidienne pour voir surgir une géométrie et même des géométries beaucoup plus générales. » Prise dans cette perspective de généralisations, la pensée mathématique apparaît comme une aspiration

(1) JUVET, *loc. cit.*, p. 162.

(2) BUHL, Notes sur la géométrie non-euclidienne, *apud* BARBARIN, *loc. cit.*, p. 116.

au complet. C'est dans le complet qu'elle trouve la cohérence et le signe d'une objectivation achevée.

L'épure axiomatique sous-jacente à la pensée géométrique est elle-même soutenue par une pensée plus profonde qui est ainsi la base primordiale de la psychologie mathématique : cette base, c'est l'idée de groupe. Chaque géométrie — et sans doute plus généralement chaque organisation mathématique de l'expérience — est caractérisée par un groupe spécial de transformations. Nouvelle preuve que l'être mathématique est désigné par des critères relatifs à des transformations. Quand on prend l'exemple de la géométrie euclidienne, on se trouve devant un groupe particulièrement clair et simple — peut-être est-il si clair qu'on n'en voit pas tout de suite l'importance théorique et expérimentale. Ce groupe est, comme on le sait, le groupe des déplacements. C'est par le groupe des déplacements qu'on définit l'égalité de deux figures, égalité qui est, de toute évidence, la base de la géométrie métrique : deux figures sont définies comme égales lorsqu'elles peuvent être exactement superposées après le déplacement de l'une d'elles. On voit immédiatement que deux déplacements successifs peuvent être remplacés par un seul qui est dit le produit des deux premiers. Naturellement, une série quelconque de déplacements quelconques peut être remplacée par un seul déplacement. C'est là la simple raison qui fait que les déplacements forment un groupe.

Est-ce là une vérité expérimentale ou une vérité rationnelle ? N'est-il pas d'ailleurs frappant qu'on puisse se poser une telle question et placer ainsi l'idée de groupe au centre de la dialectique de la raison et

de l'expérience ? On a en effet la preuve que l'idée de groupe ou, plus explicitement, l'idée de composition des opérations réunies dans un groupe, est désormais la base commune de l'expérience physique et de la recherche rationnelle. La Physique mathématique, en incorporant à sa base la notion de groupe, marque la suprématie rationnelle. Il faut le comprendre en méditant la structure de cette première Physique mathématique qu'est la géométrie euclidienne. Comme le dit très bien M. Juvet (1) : « L'expérience affirme... que ces déplacements n'altèrent pas les figures ; mais l'axiomatique *démontre* cette proposition fondamentale. » La démonstration prime la constatation.

Tant qu'on n'a pas associé un groupe à une axiomatique particulière, on n'est pas bien sûr que cette axiomatique donne une table vraiment *complète* des postulats. « Si un groupe est représenté par une géométrie, dit M. Juvet (2), l'axiomatique de celle-ci est non-contradictoire, dans la mesure où l'on ne conteste pas les théorèmes de l'Analyse. D'autre part, l'axiomatique d'une géométrie ne sera complète que si elle est vraiment la représentation exacte d'un groupe ; tant qu'on n'a pas trouvé le groupe qui la fonde en raison, elle est incomplète ou peut-être déjà contradictoire. » Autrement dit, le groupe apporte la preuve d'une mathématique fermée sur elle-même. Sa découverte clôt l'ère des conventions, plus ou moins indépendantes, plus ou moins cohérentes.

Les invariances physiques appuyées sur la structure des groupes nous paraissent donner une valeur

(1) JUVET, *loc. cit.*, p. 164.

(2) *Loc. cit.*, p. 169.

rationnelle et non plus réaliste aux principes de permanence que M. Meyerson a lumineusement dégagés à la base des phénomènes physiques. En tout cas, c'est là que la mathématisation du réel se légitime vraiment et constitue des permanences organiques. C'est ce qu'indique encore M. Juvet (1) : « Dans le flux torrentueux des phénomènes, dans la réalité incessamment mouvante, le physicien discerne des permanences ; pour en donner une description, son esprit construit des géométries, des cinématiques, des modèles mécaniques, dont l'axiomatisation a pour but de préciser... ce que faute d'un meilleur terme nous appellerons encore la compréhension utile des divers concepts dont l'expérience ou l'observation ont suggéré la construction. Si l'axiomatique ainsi édifiée est la représentation d'un groupe dont les invariants admettent pour traductions, dans la réalité, les permanences que l'expérience a découvertes, la théorie physique est exempte de contradictions et elle est une image de la réalité. » Et M. Juvet rapproche les considérations sur les groupes des recherches de Curie sur les symétries. Il conclut : il y a là, à la fois, une méthode et une explication.

III

Comme on le voit, les schèmes abstraits, fournis par les axiomatiques et les groupes correspondants, déterminent la structure des diverses physiques mathématiques et il faut remonter jusqu'aux groupes pour voir

(1) *Loc. cit.*, p. 170.

les rapports exacts de ces diverses physiques. En particulier, la suprématie de la géométrie euclidienne ne saurait être plus légitime que la suprématie du groupe des déplacements. En fait, ce groupe est relativement pauvre ; il a cédé la place à des groupes plus riches, plus aptes à décrire rationnellement l'expérience fine. On comprend alors l'abandon total de l'opinion de Poincaré relative à la commodité suprême de la géométrie euclidienne. Cette opinion nous paraît plus qu'une erreur partielle et l'on trouve, à la méditer, plus qu'un conseil de prudence dans les prévisions du destin de la raison humaine (1). En la rectifiant, on aboutit à un véritable renversement de valeur dans le domaine rationnel et l'on voit le rôle primordial de la connaissance abstraite dans la physique contemporaine. Rappelons donc brièvement la thèse de Poincaré et marquons le caractère nouveau de l'épistémologie sur ce point particulier.

Quand Poincaré eut démontré l'équivalence logique des diverses géométries, il affirma que la géométrie d'Euclide resterait toujours la plus commode et qu'en cas de conflit de cette géométrie avec l'expérience physique on préférerait toujours modifier la théorie physique que de changer la géométrie élémentaire. Ainsi Gauss avait prétendu expérimenter astronomiquement un théorème de géométrie non-euclidienne : il se demandait si un triangle repéré sur les étoiles et par conséquent d'une énorme superficie manifesterait la diminution de surface indiquée par la géométrie lobatchewskienne. Poincaré n'admettait pas le caractère crucial d'une telle expérience. Si elle

(1) Cf. MEYERSON, *Le cheminement de la pensée*, t. I, p. 69.

réussissait, disait-il, on déciderait aussitôt que le rayon lumineux subit une action physique perturbante et qu'il ne se propage plus en ligne droite. De toute manière, on sauverait la géométrie euclidienne.

Dans le chapitre que nous consacrerons à l'épistémologie non-cartésienne, nous essaierons de caractériser cette pensée par la perturbation dont nous voyons ici affirmée la clarté *a priori*. En gros, cette pensée consiste à immobiliser la perspective de la clarté intellectuelle, à imaginer que le plan des pensées les plus claires se présente toujours le premier, que ce plan doit rester le plan de référence et que toutes les autres recherches s'ordonnent à partir du plan de la clarté primitive. Dans cette hypothèse épistémologique, quelle méthode assigne-t-on à la science physique ? On se hâte de dessiner l'expérience dans ses grands traits ; on encadre la phénoménologie dans une géométrie élémentaire ; on instruit l'esprit dans le maniement des formes solides, refusant la leçon des transformations. On prend alors de véritables *habitudes* rationnelles. C'est donc toute une infrastructure euclidienne qui se constitue dans l'esprit assujetti à l'expérience du solide naturel et manufacturé. C'est à partir de cet *inconscient géométrique* qu'on définit ensuite les perturbations de l'expérience physique. Comme le dit très bien M. Gonseth (1) : « Les erreurs et les corrections sont déterminées dans l'intention — inconsciente généralement — de rendre tout le système de mesures interprétable avec un écart toujours moindre par la géométrie d'Euclide. »

Mais cette structure géométrique qu'on a cru à

(1) GONSETH, *Les fondements des mathématiques*, 1926, p. 101.

jamais caractéristique de l'intelligence humaine est-elle vraiment définitive ? C'est ce qu'on peut nier désormais puisque la physique contemporaine est effectivement en train de se constituer sur des schèmes non-euclidiens. Il a suffi pour cela que le physicien aborde un nouveau domaine en toute indépendance d'esprit, après une psychanalyse des entraînements euclidiens. Ce nouveau champ d'instruction, c'est la microphysique. Nous montrerons par la suite que l'épistémologie correspondante n'est pas *chosiste*. Bornons-nous ici à souligner que l'objet élémentaire de la microphysique n'est pas un solide. En effet il n'est plus possible de considérer les particules électriques dont toute matière est formée comme de véritables solides. Et ce n'est pas là une simple affirmation réaliste qui n'aurait pas plus de valeur que les affirmations chosistes de l'atomisme réaliste. De sa thèse, le physicien moderne apporte une preuve profonde, très caractéristique de la nouvelle pensée, la particule électrique n'a pas la forme essentielle du solide parce qu'elle se déforme dans le mouvement. On en juge — comme on doit le faire — par une *transformation mathématique*, par la transformation de Lorentz, transformation qui n'admet pas le groupe des déplacements caractéristique de la géométrie euclidienne. Sans doute la mentalité euclidienne prétendra interpréter géométriquement la physique électrique, elle imaginera une contraction particulière ; mais c'est là un détour inutile, voire périlleux, puisqu'on n'arrive pas à imaginer clairement cette contraction du plein. Il vaut mieux retourner la perspective de la clarté et juger en quelque sorte les choses du dehors, en partant des nécessités mathé-

matiques, impliquées par le groupe fondamental. Ainsi, au lieu de penser de prime abord le solide indéformable entrevu par l'expérience oisive et grossière et étudié dans la simple expérience des déplacements euclidiens, la microphysique s'exerce à penser le comportement de l'objet élémentaire en accord direct avec la loi des transformations de Lorentz. Ensuite, c'est seulement comme une image simplifiée — et non plus simple — que la microphysique accepte, dans des cas particuliers, la traduction euclidienne des phénomènes. De cette image simplifiée, elle voit clairement la mutilation, la diminution, la pauvreté fonctionnelles. Psychologiquement, le physicien contemporain se rend compte que les habitudes rationnelles nées dans la connaissance immédiate et dans l'action utilitaire sont autant d'ankyloses dont il faut triompher pour retrouver le mouvement spirituel de la découverte.

Si l'on persistait cependant à donner aux raisons de commodité un certain poids, il faudrait dire que dans l'interprétation des expériences de la microphysique, c'est souvent la géométrie riemanienne qui est la plus commode, la plus économique, la plus claire. Mais c'est plutôt à partir de la valeur abstraite qu'il faut juger le débat. Il ne s'agit pas de deux langages ou de deux images, pas davantage de deux réalités spatiales ; ce qui est en jeu, ce sont deux plans de pensée abstraite, deux systèmes différents de rationalité, deux méthodes de recherche. Voici désormais le guide de la pensée théorique : le groupe. Autour d'un groupe mathématique, on peut toujours coordonner une expérience. Ce fait donne une mesure de la valeur réalisante de l'idée mathématique. L'ancienne dialectique

tique de l'eucclidien et du non-eucclidien se répercute donc dans le domaine plus profond de l'expérience physique. C'est tout le problème de la connaissance scientifique du réel qui est engagé par le choix d'une mathématique initiale. Quand on a bien compris — en suivant par exemple les travaux de M. Gonthier (voir *loc. cit.*, p. 104) — que l'expérimentation est sous la dépendance d'une construction intellectuelle antérieure, on cherche du côté de l'abstrait les preuves de la cohérence du concret. Le tableau des possibilités d'expérience est alors le tableau des axiomatiques. On accède donc à la culture physico-mathématique en revivant la naissance de la géométrie non-euclidienne qui a été la première occasion de la diversification des axiomatiques.

CHAPITRE II

LA MÉCANIQUE NON-NEWTONIENNE

I

Nous avons écrit il y a quelques années un livre spécial pour dégager le caractère de nouveauté essentielle des doctrines relativistes. Nous avons surtout insisté sur la valeur inductive des nouvelles mathématiques, en montrant en particulier que le calcul tensoriel est une véritable méthode d'invention. Dans le chapitre présent où nous nous interdisons les références aux équations mathématiques, nous nous bornerons à caractériser les relations générales de l'esprit scientifique newtonien et de l'esprit scientifique einsteinien.

Au point de vue astronomique, la refonte du système einsteinien est totale. L'astronomie relativiste ne sort en aucune façon de l'astronomie newtonienne. Le système de Newton était un système achevé. En corrigeant partiellement la loi de l'attraction, en affinant la théorie des perturbations, il y avait de nombreux moyens pour rendre compte de la légère avance du périhélie de Mercure ainsi que des autres anomalies. De ce côté, il n'était pas besoin de boule-

verser de fond en comble la pensée théorique pour l'adapter aux données de l'observation. Nous vivions d'ailleurs dans le monde newtonien comme dans une demeure spacieuse et claire. La pensée newtonienne était de prime abord un type merveilleusement net de pensée fermée ; on ne pouvait en sortir que par effraction.

Même sous le rapport simplement numérique, on se trompe, croyons-nous, quand on voit dans le système newtonien une première approximation du système einsteinien, car les finesses relativistes ne découlent point d'une application affinée des principes newtoniens. On ne peut donc pas dire correctement que le monde newtonien préfigure en ses grandes lignes le monde einsteinien. C'est après coup, quand on s'est installé d'emblée dans la pensée relativiste, qu'on retrouve dans les calculs astronomiques de la Relativité — par des mutilations et des abandons — les résultats numériques fournis par l'astronomie newtonienne. Il n'y a donc pas de transition entre le système de Newton et le système d'Einstein. On ne va pas du premier au second en amassant des connaissances, en redoublant de soins dans les mesures, en rectifiant légèrement des principes. Il faut au contraire un effort de nouveauté totale. On suit donc une induction transcendante et non pas une induction amplifiante en allant de la pensée classique à la pensée relativiste. Naturellement, après cette induction on peut, par réduction, obtenir la science newtonienne. L'astronomie de Newton est donc finalement un cas particulier de la Panastronomie d'Einstein, comme la géométrie d'Euclide est un cas particulier de la Pangéométrie de Lobatchewsky.

II

Mais, comme on le sait, ce n'est pas à propos de la figure du Monde, comme astronomie générale, que la Relativité a pris son essor. Elle est née d'une réflexion sur les concepts initiaux, d'une mise en doute des idées évidentes, d'un dédoublement fonctionnel des idées simples. Par exemple, quoi de plus immédiat, quoi de plus évident, quoi de plus simple que l'idée de simultanéité ? Les wagons du train partent tous simultanément et les rails sont parallèles : n'est-ce point là une double vérité qui illustre à la fois les deux idées primitives de parallélisme et de simultanéité ? La Relativité attaquera cependant la primitivité de l'idée de simultanéité, comme la Géométrie de Lobatchewsky a attaqué la primitivité de l'idée de parallélisme. Par une exigence subite, le physicien contemporain nous demandera d'associer à l'idée pure de simultanéité l'expérience qui doit prouver la simultanéité de deux événements. C'est de cette exigence inouïe qu'est née la Relativité.

Le Relativiste nous provoque : comment vous servez-vous de votre idée simple ? Comment prouvez-vous la simultanéité ? Comment la connaissez-vous ? Comment vous proposez-vous de nous la faire connaître, à nous qui n'appartenons pas à votre système de référence ? Bref, comment faites-vous fonctionner votre concept ? Dans quels jugements expérimentaux l'impliquez-vous, car l'implication des concepts dans le jugement, n'est-ce point là le sens même de l'expérience ? Et quand nous avons répondu, quand nous avons imaginé un système de signaux optiques pour que des observateurs différents puissent

convenir d'une simultanéité, le Relativiste nous contraint à incorporer notre expérience dans notre conceptualisation. Il nous rappelle que notre conceptualisation est une expérience. Le monde est alors moins notre représentation que notre vérification. Dorénavant, une connaissance discursive et expérimentale de la simultanéité devra être attachée à la prétendue intuition qui nous livrait d'emblée la coïncidence de deux phénomènes dans le même temps. Le caractère primitif de l'idée pure n'est pas maintenu ; l'idée simple n'est connue qu'en composition, par son rôle dans les composés où elle s'intègre. Cette idée qu'on croyait première ne trouve une base ni dans la raison ni dans l'expérience. Comme le remarque M. Brunschvicg (1) « elle ne saurait être ni définie logiquement par la raison suffisante, ni constatée physiquement sous une forme positive. Elle est dans son fond, une négation ; elle revient à nier qu'il faille un certain temps pour la propagation de l'action de signalement. Nous apercevons alors que la notion de temps absolu, ou plus exactement la notion de la mesure unique du temps, c'est-à-dire d'une simultanéité indépendante du système de référence, ne doit son apparence de simplicité et d'immédiate réalité qu'à un défaut d'analyse ».

On retrouve le même principe critique à la base des méthodes plus récentes de Heisenberg. A propos des concepts les plus simples comme ceux qui président à la localisation d'un objet dans l'espace, la même exigence expérimentale nous sera imposée. On nous

(1) BRUNSCHVICG, *L'expérience humaine et la causalité physique*, p. 408.

refusera le droit de parler de la place de l'électron si nous n'apportons pas une expérience pour trouver l'électron. En vain, les réalistes répondront qu'on le trouve où il est, en se confiant au caractère immédiat, clair, simple de l'idée de lieu ; les partisans de Heisenberg feront remarquer que la recherche d'un objet minuscule est une expérience délicate et que cette expérience, dès qu'elle est précise, déplace l'objet, dès qu'il est fin. L'expérience fait donc corps avec la définition de l'Etre. Toute définition est une expérience ; toute définition d'un concept est fonctionnelle. Il s'agit, pour Heisenberg comme pour Einstein, d'une sorte de doublement expérimental des notions rationnelles. Ces notions cessent donc d'être absolues puisqu'elles sont en corrélation avec une expérience plus ou moins précise.

III

Ainsi, même des notions d'essence géométrique comme la position, la simultanéité, doivent être saisies dans une composition expérimentale. La réflexion rigoureuse retourne donc vers les origines expérimentales de la géométrie. La physique devient une science géométrique et la géométrie une science physique. Naturellement des notions plus profondément engagées dans la réalité matérielle, comme la *masse*, se présenteront, dans la science relativiste, sous un aspect plus composé, sous une pluralité d'espèces. Il y a là une opposition très nette de l'esprit nouveau à l'esprit ancien. Essayons d'en dégager l'importance philosophique.

Dans la science des siècles derniers, l'unité de la notion de masse, son caractère immédiat et évident, provenaient de la vague intuition de quantité de matière. On avait une telle confiance dans la prise concrète de l'esprit sur la Nature que les définitions newtoniennes paraissaient la simple précision d'une idée vague mais fondée. Ainsi en définissant la masse newtonienne comme le quotient d'une force par une accélération, on croyait lire dans cette définition le rôle spécifique de la substance du mobile qui s'opposait d'autant plus à l'efficacité d'une force qu'il contenait plus de matière. Quand on était ensuite amené à définir la masse maupertuisienne comme le quotient d'une impulsion et d'une vitesse, on retrouvait l'aide puissante de la même pensée vague, de la même intuition trouble : là encore le point matériel s'opposait d'autant plus à l'efficacité d'une impulsion qu'il contenait plus de matière. D'une manière plus théorique, les formules de dimensions semblaient prouver qu'il s'agissait bien, dans les deux cas, de la même masse, du même coefficient de résistance et le doute ne venait pas qu'il pût y avoir une différence. Ainsi la notion première de masse, bien fondée à la fois dans une théorie et dans une expérience, paraissait devoir échapper à toute analyse. Cette idée simple semblait correspondre à une *nature* simple. Sur ce point la science paraissait une traduction immédiate de la réalité.

Or les formules de dimensions, qui fixent les rapports des unités entre elles, ne décident pas aussi souverainement qu'on l'a cru parfois de la nature des entités qu'elles caractérisent. D'autre part, la revendication d'une prise immédiate sur le concret est

souvent bien téméraire. La Relativité, sur ce point particulier, va être à la fois moins réaliste et plus riche que la science antécédente. Elle va dédoubler une notion simple, donner une structure mathématique à une notion concrète. En effet, la Relativité apporte la preuve que la masse d'un mobile est fonction de sa vitesse. Mais cette fonction n'est pas la même dans le cas de la masse maupertuisienne et dans le cas de la masse newtonienne. Ces deux masses ne peuvent être assimilées qu'en première approximation. Ces deux notions ne sont semblables que si l'on fait abstraction de leur structure notionnelle fine. Les formules de dimensions ne pouvaient discriminer des fonctions homogènes quant aux vitesses et c'est précisément le cas des coefficients de rectification qui ne font intervenir que le quotient de la vitesse du mobile et de la vitesse de la lumière.

La Relativité a scindé encore la notion de masse prise sous la définition purement newtonienne. Elle a conduit en effet à distinguer entre la masse calculée le long de la trajectoire (masse longitudinale) et la masse calculée sur une normale à la trajectoire, comme une sorte de coefficient de résistance à la déformation de la trajectoire (masse transversale). On pourra objecter que ces dernières distinctions sont artificielles, qu'elles correspondent à une décomposition purement vectorielle. Mais c'est la possibilité de cet artifice et de cette décomposition qui est instructive. Elle montre combien la nouvelle physique mathématique est éloignée de la mécanique classique où la masse prise comme unité fondamentale était posée comme un élément nécessairement simple.

Naturellement sur ce point spécial comme dans

l'organisation générale de la pensée, il sera très facile de retrouver la masse classique comme un cas particulier des masses relativistes. Il suffira pour cela d'effacer les mathématiques internes, de supprimer toutes les finesses théoriques qui donnent un rationalisme complexe. On retrouvera la réalité simplifiée et le rationalisme simpliste. On déduira donc, par effacement, la mécanique newtonienne de la mécanique einsteinienne, sans qu'on puisse jamais, dans le détail comme dans l'ensemble, instituer la déduction inverse.

Ainsi quand on fait, à propos de concepts particuliers, le bilan des connaissances dans le système du xix^e siècle et dans le système du xx^e, on doit conclure que ces concepts se sont élargis en se précisant et qu'on ne peut les prendre désormais comme *simples* que dans la mesure où l'on se contente de *simplifications*. Jadis, on imaginait que c'était à l'application que les concepts se compliquaient, on croyait qu'on les appliquait toujours plus ou moins mal ; considérés en eux-mêmes, on les tenait pour simples et purs. Dans la nouvelle pensée, l'effort de précision ne se fait plus au moment de l'application ; il se fait à l'origine, au niveau des principes et des concepts. Comme le dit très bien M. Federigo Enriques (1) : « La physique, au lieu d'offrir une vérification plus précise de la mécanique classique, conduit plutôt à en corriger les principes. » C'est là un renversement de la perspective épistémologique dont nous donnerons encore, chemin faisant, d'autres exemples.

(1) ENRIQUES, *Les concepts fondamentaux de la science*, trad. ROUGIER, p. 267.

IV

Le souci de complexité ne se présente pas toujours aussi clairement et il y a des concepts *encore simples* dont on pourrait peut-être s'aventurer à prévoir la complication. On ferait sentir ainsi, à son origine, le trouble psychologique apporté par le doute sur l'objectivité des concepts de base. Tel est le cas, nous semble-t-il, du concept de vitesse. Ce concept est sorti à peu près indemne des manipulations relativistes, encore que le fait d'une vitesse maxima n'ait pu être entièrement légitimé. Jadis, quand on segmentait le savoir en connaissances conceptuelles et en connaissances appliquées, en principes *a priori* et en expériences *a posteriori*, on ne pouvait guère admettre qu'il y eût une limite à l'application du concept de vitesse. Or la doctrine non-newtonnienne nous oblige à inscrire le *fait* de la vitesse de la lumière comme vitesse limite au niveau même des principes de la mécanique. Si la vitesse d'un mobile matériel atteignait la vitesse de la lumière, sa masse serait infinie. L'absurdité de cette conclusion entraîne l'absurdité de l'hypothèse. Dans une science aux concepts mathématisés, les notions empiriques se solidarisent rationnellement. Cette interférence des notions optiques et des notions mécaniques peut surprendre le philosophe qui croit que notre intelligence trouve sa structure définitive au contact d'un Monde géométrique et mécanique. Peut-être la surprise se tempérera-t-elle quand nous aurons expliqué, dans les chapitres suivants, la construction d'une intelligence *optique* pour laquelle les faits de l'expérience optique sont formateurs.

Mais, par certains côtés, le trouble du concept de

vitesse est encore plus profond. Peu à peu la vitesse a cessé d'être explicitée et elle apparaît de plus en plus comme fondue dans la notion de moment cinétique. De même que la masse d'un mobile ne peut plus se préciser sans une référence à sa vitesse, de même la notion de vitesse a tendance à se réunir à la notion d'une masse adjointe. Le moment cinétique lui-même n'est qu'un cas particulier, plus imagé, d'un moment d'essence plus algébrique. C'est ainsi que devant des difficultés multiples, Bohr disait récemment que tout ce qui touche à la notion de vitesse enferme une certaine obscurité. La vitesse ne reste une notion claire que pour le sens commun.

Un point en particulier qui reste trouble, c'est l'attribution réaliste de la vitesse. On voit bien que quelque chose se meut, mais on ne sait plus trop quoi. Qu'on parcoure par exemple le livre si profond de M. Karl Darrow, publié par M. Boll : *La synthèse des ondes et corpuscules*. On verra que sous le nom de vitesse du son, si clair au gré des manuels, nous étudions un phénomène mal précisé. Il en est de même pour la vitesse de la lumière. Nous devons alors moins nous étonner si nous sommes en présence de deux vitesses différentes quand nous considérerons le phénomène dualistique des ondes et corpuscules matériels. On est alors conduit à affirmer, dit M. Darrow (1), « qu'un flux d'électricité négative libre possède deux vitesses différentes : l'une quand nous le considérons comme un ensemble de particules, l'autre quand nous y voyons un train d'ondes. Mais ne faut-il pas que

(1) Karl K. DARROW, *La synthèse des ondes et des corpuscules*, trad. BOLL, 1931, p. 22.

l'une de ces deux vitesses soit la bonne et n'est-il pas possible de décider entre elles en mesurant le temps effectif mis par l'électricité pour parcourir une distance donnée ? Examinons cette possibilité ; nous trouverons qu'après tout, il n'est pas facile d'éviter une telle ambiguïté ». On voit ainsi poindre, à propos de l'attribution de la vitesse, l'idée dont nous parlions dans notre introduction : c'est le réel et non pas la connaissance qui porte la marque de l'ambiguïté.

N'est-il pas frappant aussi qu'une des plus graves erreurs de la mécanique aristotélicienne soit relative à une confusion sur le rôle de la vitesse dans le mouvement ? L'aristotélisme donnait en quelque sorte trop de réalité à la vitesse en professant qu'une force constante était nécessaire pour maintenir une vitesse constante. C'est en limitant, comme on le sait, le rôle du concept de vitesse que Galilée a fondé la mécanique moderne. C'est en faisant jouer à la vitesse de la lumière un rôle théorique que la Relativité fonda son premier principe. Enfin, nouvelle intervention, si nous pouvions approfondir davantage le rôle formel des moments dans le calcul matriciel tout récent, nous verrions quels sens dérivés il faudra sans doute donner au concept de vitesse pris jadis comme primitif.

Nous ne rappelons ces révolutions relatives à un seul concept que pour attirer l'attention sur le fait qu'elles sont synchrones de révolutions générales qui marquent profondément l'histoire de l'esprit scientifique. Tout va de pair, les concepts et la conceptualisation ; il ne s'agit pas de mots qui changent de sens tandis que la syntaxe serait invariable, pas davantage d'une syntaxe, mobile et libre, qui retrouverait tou-

jours les mêmes idées à organiser. Les relations théoriques entre les notions modifient la définition des notions autant qu'une modification dans la définition des notions modifie leurs relations mutuelles. D'une manière plus philosophique, on peut assurer que la pensée se modifie dans sa forme si elle se modifie dans son objet. Sans doute, il y a des connaissances qui paraissent immuables. On croit alors que l'immobilité du contenu est due à la stabilité du contenant ; on croit à la permanence des formes rationnelles, à l'impossibilité d'une nouvelle méthode de pensée. Or ce qui fait la structure ce n'est pas l'accumulation ; la masse des connaissances immuables n'a pas l'importance fonctionnelle que l'on suppose. Si l'on veut bien admettre que, dans son essence, la pensée scientifique est une objectivation, on doit conclure que les rectifications et les extensions en sont les véritables ressorts. C'est là qu'est écrite l'histoire dynamique de la pensée. *C'est au moment où un concept change de sens qu'il a le plus de sens*, c'est alors qu'il est, en toute vérité, un événement de la conceptualisation. Même en se plaçant au simple point de vue pédagogique — point de vue dont on méconnaît trop souvent l'importance psychologique — l'élève comprendra mieux la valeur de la notion galiléenne de vitesse si le professeur a su exposer le rôle aristotélicien de la vitesse dans le mouvement. On prouve ainsi l'*incrément psychologique* réalisé par Galilée. Il en va tout de même pour la rectification des concepts réalisée par la Relativité. La pensée newtonienne absorbe ainsi la mécanique classique et elle s'en distingue. Elle ne bénéficie pas seulement d'une clarté statique due à son organisation interne.

Elle éclaire encore d'une lumière étrangère et nouvelle ce qui passait pour clair en soi. Elle apporte une conviction d'une espèce plus puissante que la croyance naïve dans les premiers succès de la raison car elle se prouve en tant que progrès ; elle montre ainsi la supériorité de la pensée complète sur la pensée élémentaire. Avec la Relativité, l'esprit scientifique se fait juge de son passé spirituel.

V

Ce qui peut donner lieu de penser que l'esprit scientifique reste au fond de même espèce à travers les rectifications les plus profondes, c'est qu'on n'estime pas à sa juste valeur le rôle des mathématiques dans la pensée scientifique. On a répété sans fin que les mathématiques étaient un langage, un simple moyen d'expression. On s'est habitué à les considérer comme des outils à la disposition d'une raison consciente d'elle-même, maîtresse d'idées pures douées d'une clarté anté-mathématique. Une telle segmentation pouvait avoir un sens à l'origine de l'esprit scientifique, quand les images premières de l'intuition avaient une force suggestive et aidaient la théorie à se constituer. Par exemple, si l'on admet que l'idée d'attraction est une idée simple et claire, on peut dire que les expressions mathématiques des lois d'attraction ne font que préciser des cas particuliers, que lier ensemble quelques conséquences, comme la loi des aires, qui ont, elles aussi, un sens clair et direct dans l'intuition première. Mais dans les nouvelles doctrines, en s'éloignant des images naïves, l'esprit scientifique est

devenu en quelque sorte plus homogène : désormais, il est tout entier présent dans son effort mathématique. Ou encore, pour mieux dire, c'est l'effort mathématique qui forme l'axe de la découverte, c'est l'expression mathématique qui, seule, permet de penser le phénomène. Il y a quelques années, M. Langevin nous disait : « Le Calcul Tensoriel sait mieux la physique que le Physicien lui-même. » Le Calcul Tensoriel est vraiment le cadre psychologique de la pensée relativiste. C'est un instrument mathématique qui crée la science physique contemporaine comme le microscope crée la microbiologie. Pas de connaissances nouvelles sans la maîtrise de cet instrument mathématique nouveau.

Devant une organisation mathématique aussi complexe, on peut être tenté de répéter l'accusation bien connue de formalisme. En effet, quand une loi mathématique est trouvée, il est assez facile d'en multiplier les traductions ; l'esprit prend alors une agilité qui peut faire croire à une sorte de vol par-delà les réalités dans une atmosphère légère de pensée formelle. Mais la Physique mathématique n'est pas aussi dégagée de son objet que le prétendent les doctrinaires de l'Axiomatique. Pour s'en rendre compte, il suffit d'un court examen psychologique de la pensée formelle effective. Toute pensée formelle est une simplification psychologique inachevée, une sorte de pensée-limite jamais atteinte. En fait, elle est toujours pensée sur une matière, dans des exemples tacites, sur des images masquées. On essaie ensuite de se convaincre que la matière de l'exemple n'intervient pas. On n'en donne cependant qu'une preuve, c'est que les exemples sont interchangeables. Cette mobilité des exemples

et cette subtilisation de la matière ne suffisent pas à fonder psychologiquement le formalisme, car à aucun moment on ne saisit une pensée à vide. Quoi qu'il en dise, l'algébriste pense plus qu'il n'écrit. *A fortiori*, les mathématiques de la Physique nouvelle sont comme nourries par leur application à l'expérience. Il est bien sûr que la pensée géométrique riemannienne a vu s'accroître son poids psychologique quand elle a été utilisée par la Relativité. Il semble que l'équilibre soit parfait entre la pensée euclidienne de Newton et la pensée riemannienne d'Einstein.

Si l'on veut bien se placer systématiquement au point de vue psychologique, on ne peut manquer aussi de voir les réactions de l'outil mathématique sur l'artisan. On voit alors se substituer à l'*homo faber* l'*homo mathematicus*. Par exemple l'outil tensoriel est un merveilleux opérateur de généralité ; à le manier, l'esprit acquiert des capacités nouvelles de généralisation. Avant l'ère mathématique, durant l'âge du solide, il fallait que le Réel désignât au physicien, dans une prodigalité d'exemples, l'idée à généraliser : la pensée était alors un résumé d'expériences accomplies. Dans la nouvelle science relativiste, un unique symbole mathématique dont la signification est prolixie désigne les mille traits d'une Réalité cachée : la pensée est un programme d'expériences à réaliser.

A cette force inductive et inventive que l'esprit acquiert en maniant le Calcul Tensoriel, il faut joindre, pour achever de caractériser ce calcul au point de vue psychologique, sa valeur de pensée synthétique. La discipline du Calcul Tensoriel réclame en effet que nous n'oublions rien, que nous réalisions une sorte de

dénombrement organique et instantané nous donnant la certitude que nous tenons bien sous le regard toutes les variations du symbole. Il y a là une extension rationnelle du procédé cartésien de dénombrement mnémotechnique. Nous y reviendrons dans les conclusions de cet ouvrage pour montrer que la science non-newtonienne se généralise en une épistémologie non-cartésienne.

Ainsi, dans le détail même du calcul, veille une sorte de conscience de la totalité. C'est l'idéal de totalité initiale qui se prolonge. Avec la Relativité, nous sommes bien loin de l'état analytique de la pensée newtonienne. C'est du côté esthétique que nous trouverions des valeurs synthétiques comparables aux symboles mathématiques. En se souvenant de ces beaux symboles mathématiques où s'allient le possible et le réel ne peut-on évoquer les images mallarméennes ? « Leur largeur d'inspiration et l'accent vierge ! On y songe comme à quelque chose qui eût pu être ; avec raison, parce qu'il ne faut jamais négliger, en idée, aucune des possibilités qui volent autour d'une figure, elles appartiennent à l'original, même contre la vraisemblance (1)... » De la même manière, les pures possibilités mathématiques appartiennent au phénomène réel, même contre les premières instructions d'une expérience immédiate. Ce qui pourrait être, au jugement du Mathématicien, peut toujours être réalisé par le Physicien. Le possible est homogène à l'Être.

Les mécaniques ondulatoire et quantique ont considérablement accentué la valeur synthétique de la

(1) MALLARMÉ, *Divagations*, p. 90.

Physique mathématique. Elles se présentent mathématiquement, en plusieurs de leurs traits, comme des méthodes de généralisation systématique. Il suffit d'un examen rapide pour voir l'extrême généralité de l'équation de Schrödinger. Il en va de même pour le calcul matriciel. Un physicien pragmatique — s'il en existait encore — pourrait soulever mille objections contre tous ces termes fantômes qui s'introduisent, comme des figurants, pour achever formellement des pensées et qui disparaîtront sans laisser de traces, éliminés dans les vérifications finales. Mais combien on se trompe quand on croit que ces termes fantômes sont dépourvus de réalité psychologique ! Ils sont bel et bien les appuis indispensables de la pensée. Sans leur intermédiaire la pensée scientifique apparaîtrait comme une simple juxtaposition de connaissances empiriques. C'est souvent par ces termes fantômes que s'établit la liaison idéaliste et que s'accomplit cette substitution de la conséquence à la causalité qui est encore un trait important de la cohérence rationnelle de la science contemporaine.

Ainsi l'esprit scientifique ne peut se contenter de penser l'expérience présente dans ses traits saillants, il faut qu'il pense toutes les *possibilités* expérimentales. Nous sommes là devant une nuance difficile à préciser. On connaît en effet l'exigence positiviste de Heisenberg qui veut que toutes les notions employées aient un sens expérimental. Mais en y regardant de plus près, on voit que Heisenberg permet de s'appuyer sur des expériences fictives. Il suffit qu'elles soient possibles. C'est donc finalement en termes de possibilités expérimentales que s'exprime la Physique mathématique. Dans une telle doctrine, le possible

s'est en quelque sorte rapproché du réel ; il a repris une place et un rôle dans l'organisation de l'expérience. Il s'est éloigné des traductions plus ou moins fantaisistes de la philosophie du *comme si*. De cette organisation mathématique des possibilités expérimentales, on retourne alors à l'expérience par des voies plus droites. On retrouve le réel comme un cas particulier du possible. Cette perspective est sans doute propre à marquer l'élargissement de la pensée scientifique.

En résumé, si l'on prend une vue générale des rapports épistémologiques de la science physique contemporaine et de la science newtonienne, on voit qu'il n'y a pas *développement* des anciennes doctrines vers les nouvelles mais bien plutôt *enveloppement* des anciennes pensées par les nouvelles. Les générations spirituelles procèdent par emboîtements successifs. De la pensée non-newtonienne à la pensée newtonienne, il n'y a pas non plus contradiction, il y a seulement contraction. C'est cette contraction qui nous permet de trouver le phénomène restreint à l'intérieur du noumène qui l'enveloppe, le cas particulier dans le cas général, sans que jamais le particulier puisse évoquer le général. Désormais l'étude du phénomène relève d'une activité purement nouménale ; c'est la mathématique qui ouvre les voies nouvelles à l'expérience.

CHAPITRE III

MATIÈRE ET RAYONNEMENT

I

M. WHITEHEAD fait justement observer (1) que « la phraséologie de la physique est dérivée des idées matérialistes du ^{xvii}e siècle ». Or, d'après nous, ce serait une grave erreur philosophique de croire au caractère vraiment *concret* du matérialisme, surtout quand il se présente comme une doctrine de la prise immédiate du réel par une pensée scientifique mal élaborée, comme ce fut le cas au ^{xvii}e et au ^{xviii}e siècle.

Le matérialisme, en effet, procède d'une abstraction initiale qui paraît devoir mutiler à jamais la notion de matière. Cette abstraction, qu'on ne discute pas davantage dans l'empirisme baconien que dans le dualisme cartésien, c'est la localisation de la matière dans un espace précis. En un autre sens, le matérialisme tend encore à limiter la matière : c'est en lui refusant des qualités à distance par l'interdiction d'agir

(1) WHITEHEAD, *La science et le monde moderne*, trad. d'IVERY et HOLLARD, p. 200.

où elle n'est pas. Par une pente insensible, le matérialisme va à l'atomisme réaliste. Descartes a beau s'en défendre, si la matière est uniquement étendue, elle est faite de solides, elle a des propriétés strictement locales, définies par une forme, solidaires d'une forme. Pour corriger cette localisation tout abstraite, toute géométrique, le matérialisme se complète d'une physique de fluides, d'exhalaisons, d'esprits, mais sans jamais revenir à l'analyse de l'intuition première. Le mouvement est trop facilement ajouté à ces fluides imprécis qui sont chargés uniquement de porter *ailleurs* les propriétés de la matière.

Or cette localisation de la matière dans l'espace divise abusivement les propriétés géométriques et les propriétés temporelles. Elle scinde la phénoménologie en deux groupes d'études : géométrie et mécanique. La philosophie scientifique contemporaine a compris le danger de cette division arbitraire. Comme le dit très bien M. Schlick (1) : on ne peut parler « d'une géométrie déterminée de l'espace, sans tenir compte de la physique et du comportement des corps de la nature ». On ne doit pas séparer le problème de la structure de la matière et celui de son comportement temporel. On sent plus ou moins nettement que l'énigme métaphysique la plus obscure réside à l'intersection des propriétés spatiales et des propriétés temporelles. Cette énigme est difficile à énoncer, précisément parce que notre langage est matérialiste, parce qu'on croit pouvoir par exemple enraciner la nature d'une substance dans une matière placide, in-

(1) SCHLICK, *Espace et temps dans la Physique contemporaine*, trad. SOLOVINE, p. 33.

différente à la durée. Sans doute le langage de l'espace-temps est mieux approprié à l'étude de la synthèse *nature-loi*, mais ce langage n'a pas encore trouvé assez d'images pour attirer les philosophes.

Il y aurait donc un intérêt philosophique à suivre tous les efforts synthétiques. En réalité, c'est à refaire une synthèse vraiment phénoméniste de la matière et de ses actions qu'est occupée la physique contemporaine. En essayant de relier la matière et le rayonnement, elle donne au métaphysicien une leçon de construction. On va voir d'ailleurs avec quelle disponibilité d'esprit le physicien contemporain étudie le rayonnement, sans accepter précisément ce matérialisme honteux qu'est toute doctrine du fluide, de l'émanation, des exhalaisons, des esprits volatils.

Énonçons le problème sous une forme aussi polémique que possible, en le réduisant à des thèses métaphysiques. Wurtz fonde l'atomisme sur cet antique argument qu'on ne peut « imaginer de mouvement sans *quelque chose* qui se meut ». A cet argument, la microphysique serait tentée de répondre par la réciproque : « on ne peut imaginer une chose sans poser *quelque action* de cette chose ».

En effet, une chose peut bien être un objet inerte pour une sorte d'empirisme oisif et massif, pour une expérience non réalisée, c'est-à-dire non prouvée et par conséquent abstraite malgré ses revendications pour le concret. Il n'en va pas de même pour une expérimentation de la microphysique. Là, on ne peut pratiquer la prétendue analyse du réel et du devenir. On ne peut décrire que dans une action. Par exemple, qu'est-ce qu'un photon immobile ? On ne peut détacher le photon de son rayon comme

aimerait sans doute à le faire un *chosiste* habitué à manier les objets sans cesse disponibles. Le photon est de toute évidence un type de chose-mouvement. D'une manière générale, il semble que plus l'objet soit petit, mieux il réalise le complexe d'espace-temps, qui est l'essence même du phénomène. Le matérialisme élargi, dégagé de son abstraction géométrique primitive, conduit ainsi naturellement à associer la matière et le rayonnement.

Dans cette vue, quels vont être, pour la matière, les caractères phénoménaux, les plus importants ? Ce sont ceux qui sont relatifs à son énergie. Avant tout, il faut considérer la matière comme un transformateur d'énergie, comme une source d'énergie ; puis parfaire l'équivalence des notions et se demander comment l'énergie peut recevoir les différents caractères de la matière. Autrement dit, c'est la notion d'énergie qui forme le trait d'union le plus fructueux entre la chose et le mouvement ; c'est par l'intermédiaire de l'énergie qu'on mesure l'efficacité d'une chose en mouvement, c'est par cet intermédiaire qu'on peut voir comment un *mouvement devient une chose*.

Sans doute, dans la macrophysique du siècle dernier, on examinait déjà avec soin les transformations d'énergie, mais il s'agissait toujours de gros bilans dont le détail d'évolution n'était pas fixé. D'où la croyance aux transformations continues dans un temps sans structure : la continuité d'un compte en banque empêchait de comprendre le caractère discontinu du troc. On était arrivé à une sorte de doctrine abstraite du virement qui suffisait, croyait-on, à rendre compte de l'économie énergétique. Ainsi,

les énergies cinétiques devenaient potentielles ; les diverses formes d'énergie calorifiques, lumineuses, chimiques, électriques, mécaniques se transformaient directement l'une dans l'autre, grâce à des coefficients de conversion. Sans doute, on se rendait plus ou moins compte qu'une matière devait former le lieu, servir de base, pour cet échange énergétique. Mais, dans de tels échanges, la matière n'était souvent qu'une sorte de cause occasionnelle, qu'un moyen d'expression pour une science qui voulait rester réaliste. Toute une école d'ailleurs prétendait se passer de la notion de matière. C'était le temps où Ostwald disait : le bâton qui frappe Scapin ne prouve pas l'existence du monde extérieur. Ce bâton n'existe pas. N'existe que son énergie cinétique. Karl Pearson disait de même : la matière est l'immatériel en mouvement « Matter is non-matter in motion » (1). Autant d'affirmations qui pouvaient paraître légitimes, car la matière n'étant prise que comme un support placide et l'énergie comme une qualité en quelque sorte extérieure et indifférente au support, on pouvait fort bien, par une critique à la Berkeley, faire l'économie du support pour ne parler que du véritable phénomène d'essence énergétique. On s'explique qu'une telle doctrine se soit écartée de toute étude relative à la structure de l'énergie. Non seulement elle s'opposait aux recherches atomiques sur la structure de la matière, mais elle se dirigeait, dans son propre domaine, vers une étude générale de l'énergie, sans chercher à construire l'énergie.

(1) Cité par REISER, *Mathematics and emergent evolution*, in *Monist*, oct. 1930, p. 523.

M. Brunschvicg a écrit des pages très profondes sur le parallélisme des doctrines concernant la conservation de la matière et celle de l'énergie. « Le substantialisme chimique, orienté vers l'ontologie matérialiste de l'atomisme antique, dit-il (1), semble appeler un substantialisme physique qui, derrière la diversité des apparences qualitatives, pose, comme faisaient jadis les Stoïciens, l'unité d'une réalité causatrice » et un peu plus loin « L'idée s'est vulgarisée... d'une sorte de *substratum causal*, demeurant, par-dessous les diverses transformations d'ordre physique, analogue au *substratum* proprement *matériel* qu'après la chimie de Lavoisier on avait repris l'habitude de considérer comme impérissable et comme éternel à travers les compositions et les décompositions des différents corps. » Ainsi le réalisme de l'énergie aussi bien que le réalisme de la matière se présentaient au siècle dernier comme des doctrines de philosophie générale, à tendance abstraite, poursuivant le *dépeuplement* de l'espace et du temps, à l'inverse des doctrines modernes dont l'activité « spatialisante » et « nombrante » a été si bien mise en lumière par M. Brunschvicg.

Ce double déficit de structure qui touche aussi bien la matière que l'énergie dans l'intuition ancienne nous paraît méconnaître un caractère essentiel de l'énergie : son caractère temporel. Nous ne pourrions approfondir la notion d'énergie qu'en accroissant notre expérience des phénomènes de la durée. Si l'on se borne à dire que la matière a des propriétés énergétiques, qu'elle peut absorber, émettre de l'énergie,

(1) BRUNSCHVICG, *L'expérience humaine et la causalité physique*, p. 351, 352.

qu'elle peut l'emmagasiner, on arrive à des contradictions. En s'emmagasinant, l'énergie devient latente, potentielle, fictive, comme une somme d'argent subtilisée aux guichets des banques et l'énergie qui n'a de sens réel que dans un déploiement temporel devient intemporelle.

Or on va voir, avec la physique contemporaine, l'énergie se réincorporer dans la matière, s'associer à la matière, dans une sorte d'échange structural perpétuel. Il ne s'agit plus de cet emmagasinement indéfini, n'apportant aucune différence substantielle comme c'était le cas, dans l'ancienne intuition, pour une balle de plomb qui passait de la température de 0° à la température de 100°, ou de la vitesse de un mètre par seconde à la vitesse de deux mètres par seconde. Au contraire, dans les intuitions contemporaines, il s'agit bien d'une dialectique ontologique. Non seulement l'atome atomise tous les phénomènes qui se concentrent sur lui, mais il donne une structure à toute l'énergie qu'il émet. L'atome est lui-même transformé d'une manière discontinue par absorption ou émission d'énergie discontinue. Dès lors, il ne suffit plus de dire que la matière nous est connue par l'énergie comme la substance par son phénomène, pas davantage il ne faut dire que la matière *a* de l'énergie, mais bien, sur le plan de l'être, que la matière *est* de l'énergie et que réciproquement l'énergie *est* de la matière. Cette substitution du verbe *être* au verbe *avoir*, nous la rencontrerons en bien des points de la science nouvelle. Elle nous paraît d'une portée métaphysique incalculable. Elle revient à remplacer la description par l'équation, la qualité par la quantité et cette dernière substitution n'appar-

rait pas ici comme une sorte d'abandon philosophique. C'est bien au contraire, pour les doctrines mathématiques, une conquête décisive puisqu'elle est remportée dans le domaine de la métaphysique. En effet, on doit comprendre désormais qu'il y a *plus* et non pas *moins* dans une organisation quantitative du réel que dans une description qualitative de l'expérience. La qualité, nous la retrouverons, avec son flou, au niveau des phénomènes compensés, dans les inconsistantes propriétés des ensembles, comme un pauvre aspect général et vague, comme un résumé toujours unilatéral. En étudiant les fluctuations de la quantité, nous aurons des moyens pour définir le caractère indéfinissable des qualités particulières. Et le réalisme de la qualité première subira un nouvel échec. Ainsi, les études sur l'ionisation rendent compte de la couleur bleue du ciel, en faisant passer la valeur explicative de la matière au rayonnement. En vain, objectera-t-on que l'on pense la propriété attribuée au rayonnement comme on pensait la qualité attribuée à la matière quand on disait, au siècle dernier, que l'air pris sous une grande épaisseur *est* bleu. On sent bien que les attaches substantives ont été desserrées et qu'il n'y a plus que les liens du langage qui nous lient au réalisme immédiat. L'immense voûte du ciel nous apparaît azurée, mais tout cet azur n'est plus pour nous une véritable propriété substantielle. L'azur du ciel n'a guère plus d'*existence* que la voûte du ciel.

Le fait même que l'énergie modifie la matière nous conduira à une étrange traduction du figuré dans l'abstrait : c'est parce qu'un atome reçoit ou abandonne de l'énergie qu'il change de forme ; ce n'est pas parce qu'il change de forme qu'il perd ou gagne de

l'énergie. Si l'on ne comprend pas cette nuance c'est que l'on accorde trop de causalité à l'atome individuel. On s'interdit ainsi le recours à la probabilité comme notion initiale. Soyons donc aussi peu réalistes que possible au niveau de l'atome et nous verrons que la modification d'énergie — modification abstraite — peut être explicative.

Ainsi l'étude de la microénergétique nous paraît conduire à une *dématérialisation du matérialisme*. Un moment viendra où nous pourrons parler d'une configuration abstraite, d'une configuration sans figure ; après avoir haussé l'imagination, instruite d'abord par les formes spatiales, jusqu'à l'hypergéométrie de l'espace-temps, nous verrons la science occupée à éliminer l'espace-temps lui-même pour atteindre la structure abstraite des groupes. On sera bien là dans ce domaine de l'abstrait coordonné qui donne la primauté à la relation sur l'être.

En résumé, d'une manière à la fois générale et positive, les rapports de la matière et de l'énergie sont très propres à nous montrer comment la coopération des notions scientifiques accentue leur valeur ontologique. C'est aussi par ce biais qu'on saisit la libération d'une intuition trop spatiale, trop confiante dans sa conquête réaliste première. Alors que la matière se présente à l'intuition naïve dans son aspect localisé, comme dessinée, comme enfermée dans un volume bien limité, l'énergie reste sans figures ; on ne lui donne une configuration qu'indirectement, en la rattachant au nombre. L'énergie peut d'ailleurs, sous forme potentielle, occuper un volume sans limite précise ; elle peut s'actualiser en des points particuliers. Merveilleux concept placé comme un inter-

médiaire numérique entre le potentiel et l'actuel, entre l'espace et le temps ! Par son développement énergétique, l'atome est *devenir* autant qu'*être*, il est *mouvement* autant que *chose*. Il est l'élément du *devenir-être* schématisé dans l'espace-temps.

On peut d'ailleurs signaler une évolution réciproque qui peut nous faire prévoir une nouvelle réalisation des caractères énergétiques, tant est régulier le balancement épistémologique du réalisme au non-réalisme. Ainsi, c'est un des expérimentateurs les plus prudents de ce temps qui suggère l'idée de la création de l'atome par le mouvement. Dans une adresse prononcée devant la société de l'industrie chimique de New York — est-il plus forte garantie de Positivisme que le rapprochement de ces trois qualités : industriel, chimique, américain ? — Millikan donne pour cause des rayons cosmiques le processus d'édification des atomes dans les régions de l'Univers où les températures et les pressions sont à l'extrême opposé de ce qu'elles sont dans les amas de matière. Il oppose donc au processus de destruction atomique qui a lieu dans les étoiles un processus de création atomique qui a lieu dans le vide interstellaire. La destruction atomique dans les étoiles donne une énergie de rayonnement qui se reconvertit en matière, en électrons, dans les conditions de densité et de température nulles qui règnent dans le vide interstellaire. Les corpuscules positifs et négatifs ainsi créés aux dépens de l'énergie rayonnée par les étoiles servent à édifier différents atomes dont l'hélium, l'oxygène et le silicium sont pris comme types généraux par Millikan. C'est cette « reconversion » de l'énergie en matière

qui nous est annoncée par les rayons cosmiques (1).

Millikan ne manque pas d'indiquer que cette évolution réciproque, qui va alternativement du mouvement à la matière, du rayonnement au corpuscule, corrige les conceptions du siècle dernier sur la « mort » de l'Univers.

Cette réversibilité ontologique du rayonnement et de la matière achève en quelque sorte la réversibilité des échanges entre matière et énergie rayonnée telle que la présentait l'équation d'Einstein relative à l'effet photochimique. D'après cette équation, la matière absorbait bien l'énergie du rayonnement ; elle émettait à son tour de l'énergie. Les échanges entre absorption et émission étaient bien réversibles ; ils étaient indiqués par la même équation. Mais si prodigue que soit la matière dans cette émission énergétique, l'intuition d'Einstein ne nous permettait guère de concevoir que la matière pût s'effacer complètement. De même, si apte que soit le rayonnement à se matérialiser, on pensait qu'il lui fallait au moins un germe de matière pour évoluer. Un matérialisme restait donc à la base du réalisme einsteinien. Avec l'intuition de Millikan, la transformation du réel est plus complète. C'est le mouvement sans support qui non seulement s'appuie sur un support matériel rencontré par hasard, mais qui crée soudain son support. Et il le crée dans de telles conditions de solitude, d'inanité, d'absence de toutes choses, qu'on peut bien dire qu'on assiste à la création de la matière à partir du rayonnement, de la chose à partir du

(1) Voir l'article de MILLIKAN, *Revue générale des sciences*, octobre 1930, p. 578.

mouvement. L'équation d'Einstein est donc plus qu'une équation de transformation, c'est une équation ontologique. Elle nous engage à donner l'*être* aussi bien au rayonnement qu'au corpuscule, aussi bien au mouvement qu'à la matière.

II

Si l'on suit alors le problème des échanges entre la matière et l'énergie en essayant de descendre dans les domaines de la microphysique où se forme le nouvel esprit scientifique, on s'aperçoit que l'état d'analyse de nos intuitions communes est très trompeur et que les idées les plus simples, comme celles de *choc*, de *réaction*, de *réflexion* matérielle ou lumineuse, ont besoin d'être revisées. Autant dire que les idées simples ont besoin d'être compliquées pour pouvoir expliquer les microphénomènes.

Prenons par exemple le cas de la réflexion lumineuse et voyons comment l'idée même de réflexion, si claire dans l'intuition macroscopique, se brouille dès qu'on prétend étudier la « réflexion » d'un rayonnement sur un corpuscule. On saisira facilement sur cet exemple l'inefficacité épistémologique des idées simples du type cartésien quand on puise ces idées simples dans une intuition immédiate où se réalise trop vite la fusion des enseignements de l'expérience et de la géométrie élémentaires.

L'expérience usuelle du miroir est de prime abord si simple, si claire, si distincte, si géométrique, qu'elle pourrait être mise à la base de la *conduite scientifique*,

dans le style même où M. Pierre Janet parle de la *conduite du panier* pour caractériser la mentalité humaine et montrer la grande supériorité de l'enfant qui comprend l'action totalisante du panier alors que le chien ne se sert jamais du panier comme collecteur d'objets. En fait, la *conduite du miroir* est un schème de pensée scientifique si primitive qu'elle paraît difficile à analyser psychologiquement. Aussi les débutants s'étonnent souvent de l'insistance du professeur devant la loi de la réflexion. Il leur paraît évident que le rayon réfléchi prenne une orientation exactement symétrique du rayon incident. Le phénomène immédiat ne pose pas de problème. Priestley, dans son histoire de l'optique, dit que la loi de la réflexion fut toujours connue, toujours comprise. La difficulté du développement pédagogique provient ici, comme dans beaucoup de cas, de la facilité de l'expérience. Cette expérience est précisément le type de ces *données immédiates* que la pensée scientifique nouvelle doit reconstruire. Et ce n'est pas là une question de détail car la réflexion de la lumière illustre toute expérience de rebondissement. Les intuitions les plus diverses se renforcent l'une l'autre : on comprend le choc élastique par la réflexion lumineuse en appliquant un principe intuitif cher à Képler qui voulait que « tous les phénomènes de la nature fussent rapportés au principe de la lumière ». Réciproquement, on explique la réflexion par le rebondissement des balles lumineuses. C'est même dans ce rapprochement qu'on trouve une preuve de la matérialité de ces balles. Cheyne, un commentateur de Newton, le note expressément. La lumière est un corps ou une substance, dit-il, parce qu'elle « peut être

réfléchie et déterminée à changer de mouvements comme d'autres corps, et (que) les lois de la réflexion sont les mêmes que celles des autres corps ». On trouvera dans le savant livre de Mme Metzger (1), auquel nous empruntons cette citation, des passages où le substantialisme des corpuscules lumineux est plus accentué ; le rebondissement reste toujours la première preuve. Le principe de raison suffisante joue clairement à propos de la loi de la réflexion ; il vient soudain relier à l'expérience réelle la loi mathématique et ainsi se forme, à la base de la science, un beau type d'*expérience privilégiée*, richement explicative, totalement expliquée ; un événement du monde physique est promu au rang de moyen de pensée, de *denkmittel*, de catégorie de l'esprit scientifique. Cet événement est l'occasion d'une géométrisation foudroyante qui devrait éveiller les soupçons du philosophe habitué à la complexité de la Physique mathématique.

En effet, cette source de clarté qu'est l'intuition privilégiée de la réflexion lumineuse peut être une cause d'aveuglement. Suivons par exemple sur le problème de la couleur bleue du firmament les réels obstacles apportés par la *conduite du miroir*.

Le problème a été posé pour la première fois en termes scientifiques par Tyndall. Tyndall ne s'est plus contenté de cette explication substantialiste, curieusement ambiguë, qui voulait que l'air fût incolore sous faible épaisseur et coloré sous grande épaisseur, double affirmation bien caractéristique d'un

(1) Mme HÉLÈNE METZGER, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, p. 74 et suiv.

esprit pré-scientifique, en repos devant les thèses réalistes même contradictoires. En se référant à d'ingénieuses expériences sur des suspensions de mastic dans l'eau claire, Tyndall crut pouvoir établir que le phénomène de l'azur du ciel provenait d'une diffusion de la lumière sur des particules matérielles. Lord Rayleigh donna en 1897 une théorie du phénomène en montrant que la diffusion ne se faisait nullement sur des poussières ou des gouttelettes, mais bien sur les molécules du gaz lui-même. D'après cette théorie, toute la lumière émise par le soleil est bien diffusée, mais comme l'intensité de la lumière diffusée est inversement proportionnelle à la quatrième puissance de la longueur d'onde, c'est la lumière bleue, dont la longueur d'onde est la plus petite, qui prédomine dans l'effet d'ensemble. La formule de Lord Rayleigh est ingénieuse et fouillée, mais l'intuition de base reste très simple : de l'énergie reçue est rendue ; la molécule fait purement et simplement obstacle à la lumière, elle renvoie la lumière d'après la conduite du miroir. Nul besoin, croit-on, de chercher plus loin. N'est-on pas en face de la plus claire, la plus distincte, la plus essentielle des intuitions où la *chose* renvoie un mouvement ?

Or une très importante découverte restait voilée par l'explication elle-même. Il semblerait aller de soi que ce phénomène de changement de couleur de la lumière réfléchiée dût suggérer une étude spectroscopique du rayonnement diffusé. Cependant cette étude spectroscopique fut longtemps négligée. Alors que de nombreux expérimentateurs ont étudié l'intensité et la polarisation de la lumière diffusée dans le phénomène de Tyndall, « il est tout à fait remarquable, dit

très justement M. Victor Henri (1), qu'aucun des nombreux acteurs qui ont étudié ce phénomène n'ait eu l'idée de placer un spectrographe et d'analyser la nature de la lumière diffusée... C'est seulement en 1928 qu'un physicien génial hindou Sir Raman signala que la lumière diffusée contient des rayons de fréquences inférieures et supérieures à la fréquence incidente ». La portée scientifique de la découverte de l'effet Raman est bien connue, mais comment en négliger la portée métaphysique ? En effet, au niveau de la microphysique on saisit une coopération du rayonnement et de la molécule ; la molécule réagit en adjoignant au rayonnement reçu ses caractéristiques rayonnantes propres. La vibration qui vient toucher la molécule ne rebondira pas comme un objet inerte, pas davantage comme un écho plus ou moins étouffé ; elle aura un autre timbre car des vibrations multiples viendront s'y ajouter. Mais c'est encore là une vue et une expression trop matérialistes pour rendre compte de l'interprétation quantique du phénomène : Est-ce vraiment un spectre lumineux qui sort de la molécule touchée par un rayon ? N'est-ce pas plutôt un *spectre de nombres* qui nous transmet les nouvelles mathématiques d'un monde nouveau ? En tout cas, quand on va au fond des méthodes quantiques, on se rend bien compte qu'il ne s'agit plus d'un problème de choc, de rebondissement, de réflexion, pas davantage d'un simple troc énergétique, mais que les échanges d'énergie et de lumière s'établissent d'après un double jeu d'écriture, réglé par des convenances numériques compliquées. Ainsi le bleu du ciel interprété mathé-

(1) Victor HENRI, *Matière et énergie*, 1933, p. 24.

matiquement est actuellement un thème de pensée scientifique dont on ne saurait exagérer l'importance. L'azur du ciel, dont nous disions plus haut le peu de « réalité », est aussi instructif pour le nouvel esprit scientifique que le fut, il y a quelques siècles, le monde étoilé au-dessus de nos têtes.

Ainsi, c'est lorsqu'on examine le phénomène lumineux en résistant au schématisme, en luttant contre l'intuition première, en provoquant des raisons de pluralisme expérimental, qu'on atteint à ces pensées qui rectifient des pensées et à ces expériences qui rectifient des observations.

III

Le même problème de complexité essentielle se poserait si l'on examinait l'effet Compton en l'interprétant dans le langage de la mécanique ondulatoire. En effet, la rencontre d'un photon et d'un électron modifie la fréquence de l'un et de l'autre. Cette coïncidence dans l'espace de deux objets géométriques a donc des conséquences dans les propriétés temporelles de ces objets. Ainsi une telle rencontre n'est pas un choc mécanique, elle n'est pas non plus une réflexion optique, intelligible par la conduite du miroir. C'est un événement encore mal élucidé, bien mal désigné sous le nom de choc électromagnétique. Il faut y voir une somme de la mécanique relativiste, de l'optique, de l'électromagnétisme. Cette somme ne saurait mieux s'énoncer que dans le langage de l'espace-temps. Quel poète nous donnera les métaphores de ce nouveau langage ? Comment arriverons-nous à imaginer l'asso-

ciation du temporel et du spatial ? Quelle vue suprême sur l'harmonie nous permettra d'accorder la répétition dans le temps avec la symétrie dans l'espace ?

Il y a des expériences positives pour illustrer cette action du rythme sur la structure. Ainsi, on ne connaît aucun procédé chimique susceptible de séparer les deux isotopes du Chlore. Qu'on prenne tels composés chlorés qu'on voudra, les manipulations ordinaires de la chimie fournissent toujours le même mélange constitué par les deux Chlores 35 et 37. Cependant si l'on fait tomber sur le phosgène COCl_2 un faisceau de rayons ultra-violets dont la fréquence coïncide avec la bande de l'isotope 35, on produit la dissociation du phosgène avec libération de l'unique isotope 35. Le Chlore 37 reste en combinaison, insensible à une sollicitation mal rythmée (1). Dans cet exemple, on le voit, le rayonnement délivre la matière. Si nous ne comprenons pas dans tous leurs détails ces réactions rythmées, c'est parce que nos intuitions temporelles sont encore bien pauvres, résumées dans nos intuitions de commencement absolu et de durée continue. Ce temps sans structure paraît à première vue apte à recevoir librement tous les rythmes ; mais cette facilité est illusoire, elle met la réalité du temps au compte du continu, au compte du simple, tandis que toutes les actions merveilleuses du temps dans ce nouveau domaine de la microphysique relèvent évidemment du discontinu. Ici le temps opère plus par la répétition que par la durée. La moindre

(1) Voir V. HENRI et NOWELL, *Proc. Roy. Soc.*, 128, 192, 1930. Cité par V. HENRI, *loc. cit.*, p. 235.

méditation doit nous convaincre que dans cette décomposition élective du phosgène, il y a une tout autre complexité temporelle que dans l'action explosive et brutale de la lumière sur le mélange de Chlore et d'Hydrogène, comme on l'expliquait au siècle dernier. Avec la lumière nous possédons un agent rythmique de premier ordre qui intervient dans le complexe espace-temps qu'est la matière. M. Jean Perrin a proposé en 1925 une hypothèse radiochimique qui revient à affirmer que toutes les réactions chimiques sont des réactions photochimiques. Il ne pourrait y avoir modification structurale d'une substance que par l'intermédiaire d'une énergie radiante, énergie nécessairement quantifiée, mise sous forme rythmique, comme si les structures ne pouvaient être modifiées que par des rythmes. Dès lors l'idée macroscopique du choc perdait toute valeur explicative. Par la suite, M. Perrin a proposé lui-même de rétablir le choc comme cause possible de réaction, mais il maintient une sorte d'équivalence causale entre l'énergie du choc et l'énergie de la radiation (1).

Cette équivalence est susceptible, croyons-nous, de modifier profondément nos conceptions réalistes des substances chimiques. En effet, dès qu'on a incorporé la radiation comme intermédiaire entre les molécules, dès qu'on a compris que la radiation est une partie intégrante du réel, on possède une raison de diversité essentielle à l'égard des substances chimiques qui passaient pour les mieux définies. Une molécule qui a absorbé un quantum d'énergie radiante a subi

(1) Voir HALSSINSKY, *L'atomistique moderne et la chimie*, p. 311.

une différenciation. Le chimiste se trouve donc toujours en présence d'un complexe énergie-matière qui ne peut être défini que statistiquement puisque les molécules ne sont pas semblables et que la répartition énergétique n'est pas uniforme. Comme la chimie cinétique se développe de jour en jour, c'est peu à peu sur les caractères énergétiques qu'on met l'accent. Précisément la microénergétique se présente comme une statistique des énergies quantifiées. Sous ce biais, on peut donc bien parler d'une ontologie statistique des substances.

IV

Prenons alors les choses de plus haut. Rappelons l'organisation électronique des divers éléments de la Chimie et essayons de noter le subtil passage du plan réaliste au plan de la mathématique probabilitaire.

Peu à peu, on avait été amené à interpréter l'ordre de Mendéléeff comme le signe de la richesse progressive des éléments chimiques en électrons. Avant l'intervention de la doctrine des quanta, cette explication générale du système des éléments était le triomphe du réalisme. C'était la *présence réelle* des électrons dans l'atome qui fournissait la racine de l'explication. Peu à peu, on en vint à adjoindre, comme motif d'explication, la *place* des électrons, et c'est d'après la structure des couronnes d'électrons qu'on se fit une idée de la distribution des éléments dans les diverses périodes du tableau de Mendéléeff. A ce stade de l'explication, on a ainsi fait jouer un rôle au réalisme de la structure qui vient se placer

au-dessus du réalisme de la particule fondamentale. Sur cette intuition de la structure électronique vient se fonder toute une doctrine de la valence chimique qui rend compte des affinités et qui tente d'expliquer toutes les réactions.

Voici alors comment cette immense architecture réaliste fut touchée par une mathématique complexe et subtile. Au lieu d'attacher directement à l'électron des propriétés et des forces, on va lui attacher des nombres quantiques et, d'après la répartition de ces nombres, on déduira la répartition des places des électrons dans l'atome et dans la molécule. Qu'on saisisse bien la subtilisation soudaine du réalisme. Ici, le *nombre devient un attribut, un prédicat de la substance*. Quatre nombres quantiques suffiront à donner l'individualité à l'électron. Cette individualité sera d'ailleurs l'objet d'une sorte de respect mathématique. Voici en effet la loi sociale de toute association substantielle : dans l'atome, aucun électron n'aura le droit de s'attribuer exactement le même complexe de quatre nombres quantiques qui caractérise un autre électron. D'un électron à un autre, il faut qu'il y ait au moins une différence dans un nombre quantique. C'est grâce à cette différenciation numérale que l'électron aura son rôle bien fixé dans l'atome. Tel est le sens philosophique du principe d'exclusion de Pauli. On le voit, ce principe va à contresens de toute attribution substantialiste, inscrite en profondeur dans la substance, puisqu'il s'agit d'une sorte d'attribution en extension. Ce qui peut empêcher un électron de s'attribuer un complexe particulier de quatre nombres quantiques, c'est qu'un *autre* électron possède déjà ce complexe. Si l'on songe maintenant que

la tendance de la Chimie contemporaine est d'étendre l'application du principe de Pauli non seulement aux molécules mais encore à toute association matérielle effective (voir par exemple à ce sujet les travaux de Fermi), on est amené à une sorte de synonymie entre l'organisation matérielle et le principe d'individuation quantique des éléments constitutants. Dès qu'il y a organisation effective, il y a lieu de faire jouer le principe de Pauli. Philosophiquement parlant, c'est l'exclusion systématique du *même*, c'est l'appel à l'*autre*. A l'intérieur de tout système, mieux, pour que des éléments fassent un système, il faut une diversité mathématique essentielle entre les composants. Ne pourront être identiques que des substances chimiques sans réaction, indifférentes les unes aux autres comme des mondes fermés.

Qu'est-ce qui caractérise alors le corps chimique simple ou composé ? Ce n'est pas autre chose que cette organisation numérique nuancée, que cette organisation de nombres qui se complètent en s'excluant. Il y a là une sorte de passage subreptice du *corps chimique* au *corps arithmétique*, ce dernier terme étant pris dans son sens mathématique technique. Un corps chimique est ainsi un *corpus* de lois, une énumération de caractères numériques. Tel est le premier effort de subtilisation qui marque le passage du réalisme matérialiste au réalisme mathématique.

L'attribution des quatre nombres quantiques à l'électron doit encore être davantage désubstantialisée. Il faut maintenant comprendre en effet que cette attribution est d'essence probabilitaire, car on sent plus ou moins nettement le besoin de fonder le principe d'exclusion de Pauli à partir du calcul des proba-

bilités. Mais ce point reste encore confus. Ce qui paraît clair, c'est que les nombres quantiques servent à quantifier l'énergie. Or toutes les attributions énergétiques apparaissent maintenant comme d'origine probabilitaire. Quand on considère ensuite les coopérations énergétiques de la matière et du rayonnement, c'est encore à des relations de probabilité qu'il faut s'adresser. Ainsi, peu à peu, l'arithmétique quantique devient une arithmétique de la probabilité.

Prenons alors une substance chimique dans son caractère mathématique complexe. Elle n'est plus guère qu'une *chance de réaction*. Il suffirait d'être exigeant dans la définition ultra-précise d'une réaction exprimée dans tout son détail énergétique pour que la substance s'évanouisse comme l'espérance d'un joueur dans un jeu trop hasardeux. Sans doute il y a des raisons de stabilité, mais il faut les chercher dans la loi des grands nombres ; sans doute il y a des connaissances empiriques solides, mais il faut les chercher à un niveau d'imprécision suffisamment tolérant. On peut bien être sûr que le Chlore réagira sur l'Hydrogène, on peut même étudier la rapidité et le progrès de l'activation photochimique sur un mélange de Chlore et d'Hydrogène. Mais quant à donner le détail du partage quantique, quant à définir avec précision, avec une objectivité détaillée, l'état énergétique aux différents instants de la réaction, il n'y faut pas plus songer qu'à décrire la distribution exacte des cartes au cours d'une longue soirée de bridge. Finalement la chimie doit prendre la mesure de ses certitudes dans le calcul des probabilités.

Ainsi la Chimie qui fut longtemps la science substantialiste par excellence voit la connaissance de ses

matières se subtiliser de plus en plus. Si l'on juge de l'objet d'après les preuves de son objectivité, on doit dire que l'objet se mathématise et qu'il manifeste un singulier rapprochement de la preuve expérimentale et de la preuve mathématique. L'abîme métaphysique entre l'esprit et le monde extérieur, si infranchissable pour les métaphysiques intuitives immédiates, apparaît moins large pour une métaphysique discursive qui tente de suivre les progrès scientifiques. On peut même concevoir un véritable déplacement du réel, un épurement du réalisme, une sublimation métaphysique de la matière. La réalité se transforme d'abord en réalisme mathématique, puis le réalisme mathématique vient se dissoudre dans une sorte de réalisme des probabilités quantiques. Le philosophe qui suit la discipline des quanta — *la schola quantorum* — accepte de penser tout le réel dans son organisation mathématique, mieux encore, il s'habitue à mesurer métaphysiquement le réel par le possible, dans une direction strictement inverse de la pensée réaliste. Exprimons donc cette double suprématie du nombre sur la chose et du probable sur le nombre par une formule polémique : la substance chimique n'est que l'ombre d'un nombre.

CHAPITRE IV

ONDES ET CORPUSCULES

I

C'EST peut-être à propos du dualisme des ondes et des corpuscules que les remarques psychologiques auxquelles nous consacrons cet ouvrage nous apparaissent le mieux fondées. C'est là plus qu'ailleurs en effet qu'on peut sentir combien nous sommes mal instruits par l'expérience immédiate, à quel point nous sommes victimes du caractère unilatéral de notre expérience mécanique initiale. On peut expliquer la résistance première aux intuitions géniales de M. Louis de Broglie par une sorte de durcissement psychologique qui empêcha de suivre la double information de l'expérience. Nous avons autant à apprendre des fluides que des solides. Nous devrions nous apprendre à penser les solides à partir de l'expérience primitive des fluides, ne serait-ce que pour contrebalancer le mouvement épistémologique inverse suivi par la tradition.

Fort justement, Heisenberg donne à ses critiques une allure pédagogique qui met en lumière la néces-

sité de la double expérience. Dans ses *Principes physiques de la Théorie des Quanta*, après une courte introduction, il développe deux chapitres curieusement antagonistes. Le premier chapitre consiste à critiquer les notions physiques de la théorie corpusculaire en s'appuyant sur les notions physiques de la théorie ondulatoire, en accordant par conséquent une sorte de validité préalable aux notions ondulatoires. Le chapitre suivant transmute exactement les objections. Il consiste à critiquer les notions physiques de la théorie ondulatoire en s'appuyant sur les notions physiques de la théorie corpusculaire prises cette fois comme valables. Si cette double critique était vraiment d'essence réaliste, elle procéderait donc d'un cercle vicieux intolérable.

A la vérité, cette critique dialectique est une excellente leçon de philosophie phénoméniste. Elle est nécessaire pour poser correctement les problèmes, à l'écart des entraînements réalistes. Il suffit de parcourir les deux chapitres pour remarquer le profit psychologique qu'on en tire. Prend-on le premier, on reçoit de prime abord — excellente hygiène intellectuelle — le choc des paradoxes de la mécanique ondulatoire : il faut en effet construire la mécanique avec l'optique. Les notions de vitesse, de corpuscule, d'énergie, de position sont des notions à expliquer, à construire. Elles ne sont plus des notions simples, immédiates, claires et distinctes. Elles ne sont plus explicatives. La valeur d'explication est passée aux notions ondulatoires. Par exemple « le fait que la position de l'électron est connue avec une certaine erreur Δq s'interprète, du point de vue ondulatoire, comme une fonction d'onde dont l'amplitude n'est

différente de zéro que dans un petit intervalle ayant approximativement la dimension Δq . On peut toujours imaginer une telle fonction d'onde comme composée d'une somme d'ondes élémentaires, qui, par interférence, s'ajoutent dans le petit intervalle Δq et se détruisent mutuellement à l'extérieur (1) ». Cette méthode revient à construire le corpuscule en le considérant comme un *paquet d'ondes* à peu près comme la théorie cinétique des gaz construit la pression en la considérant comme un *faisceau de chocs*. Philosophiquement, on doit reconnaître là une inversion de la fonction réaliste, fonction qui, prise dans son sens absolu, ne devrait jamais s'inverser. En effet on inscrit le réel immédiat au compte de la composition indirecte, en acceptant le corpuscule comme un élément complexe, comme un élément construit par la synthèse et non plus isolé par l'analyse. De la critique ondulatoire, il découle que le corpuscule n'a pas plus de réalité que la composition qui le fait apparaître. Il y a des événements temporels au fond même de son être. Le corpuscule ne saurait avoir une permanence absolue, il ne peut tenir tous ses attributs comme la substance des philosophes soutenait toutes ses qualités. Les ondes qui le construisent ont à satisfaire à des conditions aux limites qui sont des conditions fondées dans des régions bien éloignées du point où le corpuscule matériel se présente comme une ombre éphémère. Autant dire que l'existence du corpuscule a une racine dans tout l'espace. Leibniz disait jadis : *quod non agit, non existit*. Il faut maintenant mettre l'aphorisme sous une forme positive.

(1) HEISENBERG, *Principes physiques de la théorie des quanta*.

Partout où le point agit, il existe. Comme le dit M. Louis de Broglie (1), dans la mécanique ondulatoire « on ne conçoit plus le point matériel comme une entité statique n'intéressant qu'une région infime de l'espace, mais comme le centre d'un phénomène périodique répandu tout autour de lui ».

Comment aussi attribuerait-on une vitesse strictement définie au corpuscule puisqu'on ne peut plus parler de son identité dans le temps ? Toutes les images de la mécanique du point se troublent les unes après les autres : puisqu'on ne peut plus reconnaître le corpuscule, on ne peut plus le retrouver, on ne peut plus le suivre à la trace. Il ne laisse donc plus de trace. Son mouvement ne se traduit pas à proprement parler sur une trajectoire. Sa matière échappe totalement au principe d'identité, au principe de conservation le plus fondamental. Pris comme somme des phénomènes vibratoires, *il est plutôt reconstruit que conservé*. Finalement on doit refuser au corpuscule l'attribution directe des qualités pour faire passer au compte de la construction indirecte la conquête plus ou moins durable des attributs.

Rendre indirect ce qui était direct, trouver du médiat dans l'immédiat, du complexe dans le simple, voilà la mesure exacte de la révolution de l'empirisme opérée par la mécanique ondulatoire. Du point de vue psychologique, on voit que les nouvelles doctrines nous apprennent à désapprendre, elles nous demandent, si l'on peut dire, de désintuitionner une intuition par une autre, de rompre avec les analyses pre-

(1) L. de BROGLIE, La nouvelle dynamique des quanta, apud, *Electrons et photons*, 1928, p. 105.

nières pour penser le phénomène au terme d'une composition.

Bien entendu, il ne saurait être question de considérer le corpuscule comme une petite sphère dont le volume est défini. Par exemple, comme toute mesure intra-électronique est inconcevable, l'intérieur de l'électron est une sorte de domaine interdit. En toute rigueur, il faudrait pouvoir inscrire cette interdiction au seuil même de l'axiomatique de la Physique mathématique. C'est ce qui a été proposé par MM. Coppel, Fournier et Yovanovitch. Ils se rendent compte que les zones d'interdiction rendent impossible la correspondance absolue entre l'espace peuplé de substances et le continuum arithmétique. Dès lors le postulat d'Archimède va se trouver contredit. Ce postulat s'énonce géométriquement sous la forme suivante : si deux segments sont donnés, il y a toujours un multiple du plus petit qui surpasse le plus grand, autrement dit, en portant assez de fois le centimètre sur une longueur donnée, on pourra toujours dépasser cette longueur. Ce postulat si clair, si intuitif, cesse cependant d'être applicable si l'expérience de mesure ne peut pas pénétrer dans une zone interdite. Enjamber ce domaine interdit, ce n'est pas le parcourir ; c'est au contraire rompre avec les principes de la mesure continue. On peut donc être conduit à envisager une géométrie non-archimédienne. Une telle géométrie aurait l'avantage d'incorporer en quelque sorte dans le système de mesure la substance réfractaire à la mesure (1). « A l'univers archimédien la

(1) COPPEL, FOURNIER et YOVANOVITCH, *Quelques suggestions concernant la matière et le rayonnement*, 1928, p. 23.

Physique impose la notion extra-logique de substance, tandis que dans les cadres d'une géométrie non-archimédienne la substance elle-même est réduite aux notions logiques fondamentales d'espace et de temps. » Autrement dit, la substance est assimilée à l'hiatus de la mesure, et cet hiatus de la mesure n'est pas un irrationnel puisqu'on a su l'inscrire dans le *corps* d'explication rationnelle. On peut voir là un bon exemple de la souplesse rationnelle apportée par les diverses dialectiques jouant à la racine des postulats. Il semble ainsi que l'irrationnel puisse se dissoudre dans des formes rationnelles appropriées. L'irrationnel n'est donc pas un absolu. Plus l'esprit est délié, moins l'irrationnel est compact.

A vrai dire, les suggestions si ingénieuses de MM. Coppel, Fournier et Yovanovitch n'ont pas reçu un plein développement. En fait, la zone d'interdiction interne qui caractériserait un corpuscule est comme perdue dans la zone d'indétermination externe impliquée par l'expérience complexe de la localisation. L'intuition non-archimédienne pourrait trouver son application dans la description d'un espace contenant des corpuscules immobiles. La coopération du mouvement et de la substance vient tout compliquer. Elle nous renvoie aux conditions de la mesure physique telle que l'a définie Heisenberg.

III

Examinons donc maintenant la deuxième perspective d'objectivation scientifique décrite par Heisenberg, celle qui part de la représentation corpusculaire

supposée correcte et qui construit, en les critiquant, les notions ondulatoires.

Cet examen est d'ailleurs extrêmement difficile à placer sur le plan strictement moderne et là, plus peut-être que dans toute autre théorie, les habitudes psychologiques anciennes enlèvent la souplesse nécessaire à une pensée en accord absolu avec la science contemporaine. En effet la construction des ondes à partir des points matériels, pris comme des réalités absolues, est aussi ancienne que la conception de la propagation ondulatoire de la lumière. Depuis Huyghens, on a entrepris sans cesse d'expliquer le mouvement oscillatoire et sa propagation grâce à un milieu plus ou moins matériel. Même lorsqu'on tenait au caractère continu de ce milieu, on le traitait comme une juxtaposition de corpuscules. Les thèses sur la structure franchement discontinue de l'éther sont également très nombreuses. On croit alors étudier la propagation *continue* de la lumière, mais on ne traduit guère dans l'intuition que le mouvement sur place enraciné sur les corpuscules séparés. La propagation de proche en proche n'apparaît que sous le couvert de développements mathématiques plus ou moins bien fondés dans l'intuition. En résumé, la construction des ondes est loin d'être accomplie dans l'ancienne physique malgré la fausse clarté des solutions apportées.

Quoi qu'il en soit, Heisenberg dirige sa critique de la physique des ondes d'une manière parallèle à la critique première de la physique des corpuscules. Il fait remarquer que les notions relatives aux ondes, comme l'amplitude, la période, la phase « ont leur origine dans les expériences de la vie quotidienne, telles que l'observation des ondes de l'eau ou des

vibrations d'un corps élastique (1) ». Elles ne paraissent donc pas liées à des corpuscules mais bien à des *ensembles* complexes et déformables. Vis-à-vis d'une intuition fondée dans un monde corpusculaire, de telles notions correspondent donc à des phénomènes composés. Par voie d'inférence, et non pas par l'observation, ces notions ont été utilisées pour expliquer la propagation de la lumière ou, plus exactement, les expériences de diffraction et d'interférence. Enfin on a appliqué avec succès les mêmes notions aux phénomènes nouveaux relatifs aux ondes annexées au mouvement matériel. Tous ces succès légitiment-ils le réalisme de la construction ? Tel est le problème épistémologique qui se pose.

Voici alors la question essentielle : peut-on faire passer aux ondes inférées (ondes fresnelliennes aussi bien qu'ondes brogliennes) tous les caractères des ondes de la phénoménologie immédiate telles que celles provoquées par la chute d'une pierre dans une eau tranquille ? C'est bien la question strictement parallèle à celle que nous posions quand nous nous demandions si un électron avait vraiment toutes les propriétés d'un corpuscule matériel. Et voici la même réponse : de même que la position d'un électron est impossible à préciser, la connaissance exacte des amplitudes en chaque point d'une région occupée par une onde est manifestement impossible. Toute expérience de mesure ne peut fournir que la valeur moyenne de l'amplitude dans une région de l'espace et dans un intervalle de temps qui ne peuvent être réduits à un point et à un instant. Autrement dit,

(1) HEISENBERG, *loc. cit.*, p. 39.

l'onde ne se laisse pas concrétiser autour d'un point matériel qui deviendrait ainsi le support du mouvement vibratoire en acceptant le point matériel comme une racine correcte et réelle des phénomènes. L'ancienne physique ne pouvait donc pas donner vraiment des propriétés vibratoires à un point matériel. On s'explique alors assez philosophiquement les échecs de la Physique ancienne dans ses tentatives pour constituer un éther discontinu. Déjà, au fond même de l'intuition des partisans de l'éther, il y avait une adhésion au fait que l'onde implique une base étendue et met en jeu un groupe continu de points. Quand on sera amené à traduire cette intuition dans un continu de probabilité, on ne fera qu'obéir à une sorte de solidarité initiale, impliquée dans le fait qu'une onde est une image synthétique.

Ainsi les deux images *corpuscules* et *ondes* n'arrivent pas vraiment à se rejoindre. Elles ne sont claires que si elles sont isolées. Elles doivent en somme rester l'une et l'autre des images et ne pas prétendre représenter des réalités profondes. Ces images seront cependant instructives si nous savons les prendre comme deux sources d'analogies, si nous nous exerçons à penser l'une par l'autre aussi bien qu'à limiter l'une par l'autre. Elles ont en effet toutes deux fait leurs preuves : l'intuition du corpuscule et de ses mouvements a donné la mécanique, l'intuition de l'onde et de sa propagation a donné l'optique physique.

Comme base pour la psychologie scientifique, l'intuition mécanique a été longtemps dominante. Il y a donc un véritable intérêt pédagogique à s'entraîner dans l'étude des doctrines ondulatoires. Rien ne souligne plus nettement l'importance toute psycholo-

gique du problème que ces remarques de M. C. G. Darwin (1) : « Il nous faut bien autre chose que de simples principes fondamentaux : nous devons, en particulier, acquérir des formes de pensée qui nous permettent de prévoir des phénomènes trop compliqués pour qu'on puisse les traiter mécaniquement d'une façon complète. Je crois que pour forger ces nouvelles formes de pensée, nous devrions tenir compte du fait que l'esprit humain est doué d'une très grande inertie, et aussi, pourrions-nous dire, d'une grande viscosité : il se déplace toujours très paresseusement d'une position d'équilibre à une autre... Si nous voulons atteindre plus rapidement l'équilibre, nous devons appliquer pendant un temps très court une force bien supérieure à celle qui est strictement nécessaire pour le réaliser. C'est pourquoi je crois que la meilleure ligne de conduite à adopter à l'heure actuelle est d'insister sur l'aspect ondulatoire de la théorie au détriment de son aspect dynamique, espérant parvenir de cette manière, dans le délai le plus court, à un juste milieu entre les deux. » Cet équilibre établi, nous serons conduits à constater un fait curieux, dit plus loin M. Darwin : « Pour les problèmes concernant les particules (ou ce que nous pensions être des particules) nous devons employer les méthodes de la théorie des ondes, tandis que pour la lumière, qui nous semble avoir un caractère ondulatoire indéniable, nous sommes obligés d'utiliser la théorie des particules. »

A l'action pédagogique positive qui consiste à

(1) DARWIN, La théorie ondulatoire de la matière, apud *Annales de l'institut Henri-Poincaré*, fasc. I, vol. I, p. 25 et 26.

accentuer toutes les leçons fournies par les phénomènes ondulatoires, il faudrait joindre, croyons-nous, une sorte d'éducation négative qui consisterait à ruiner le réalisme naïf formé dans la contemplation du mouvement des projectiles. On pourrait par exemple faire sentir tout ce qu'il y a d'inachevé et de gratuit dans la réalité attribuée par inférence aux corpuscules lumineux. On a trop vite dit que la conception des photons restituait l'ancienne intuition des corpuscules de lumière imaginés par Newton. De telles restitutions sont possibles au début d'une culture scientifique, devant des intuitions premières interchangeableables, mais des pensées rectifiées ne reviennent jamais à leur point de départ. En fait, toutes les expériences mécaniques *entre photons* ont échoué. On a bien pu déterminer la rencontre d'un photon et d'un électron dans l'effet Compton ; mais quand on a voulu étudier le choc de deux photons, l'expérience a été négative. Elle consistait dans le croisement de deux rayons lumineux ; si rares que soient les photons le long d'un rayon, on ne peut comprendre la raison qui empêche toute collision au point de croisement des deux rayons. Mais le fait est patent : on ne trouve jamais de photons projetés dans l'angle des deux rayons. Concluons donc ce point par ce thème de réflexion philosophique : on ne peut jamais manifester une *composition mécanique* de la lumière alors que, dans les interférences, on décèle si facilement une *composition ondulatoire* de la lumière.

Toujours en visant le même but d'éducation négative, rappelons les anomalies mécaniques du photon. Il aurait une masse nulle si l'on pouvait seulement le concevoir en repos. Il est doué naturellement de cette

vitesse limite refusée aux corps matériels. Bien entendu la localisation du photon dans un faisceau lumineux est touchée par les relations d'incertitude de Heisenberg. On voit donc s'accumuler, à propos du photon, les mêmes oppositions qualitatives qui s'étaient révélées si arbitrairement associées dans les anciennes doctrines de l'éther. Dans l'ancienne théorie réaliste de l'éther, on avait été amené par exemple à attribuer à ce milieu physique à la fois une extrême légèreté et une extrême élasticité ; il était plus ténu qu'un gaz, plus élastique que l'acier. Il semble que le matérialisme de la lumière soit ainsi de siècle en siècle voué aux contradictions expérimentales. Toutes ces difficultés peuvent suggérer l'idée philosophique que le photon ne peut être ramené totalement à l'intuition corpusculaire. La *réalisation matérielle* du photon se révèle donc comme une intuition imparfaite. En contrepartie, ces remarques devraient conduire à être moins exigeant pour le physicien quand on lui demandera de déterminer en détail la *réalisation ondulatoire* de l'électron.

D'une manière générale, que ce soit pour le photon, pour l'électron ou pour l'atome, il faut se convaincre qu'on doit parler plutôt de réalisation que de réalité. Comme le dit M. Margenau (1) : « La reconnaissance du fait que l'appel réaliste de certaines données naturelles dépend en grande partie de nos modes de compréhension enlève au réalisme naïf une grande partie de ses forces de persuasion. » La réalisation expérimentale dépend au premier chef de nos modes d'appréhension intellectuelle. C'est à la théorie à

(1) MARGENAU, *Monist*, July 1929.

faire les premiers pas. Les phénomènes de la microphysique manquent de *realistic appeal*.

Quand on s'est appris à équilibrer les deux intuitions du corpuscule et de l'onde, quand on a commencé à résister au réalisme naïf qui voudrait former partout des choses aux caractères permanents, quand on a compris la puissance de l'expérience réalisante, on est préparé à poser dans des termes moins aigus le problème du rapport dialectique des deux grands aspects phénoménologiques. En effet, pourquoi chercherait-on une sorte de liaison causale entre le corpuscule et l'onde s'il s'agit uniquement de deux images, de deux points de vue pris sur un phénomène complexe ? En fait, les thèses qui représentaient l'onde pilote dirigeant le corpuscule n'ont apporté que des métaphores pour traduire la simple association du corpuscule et de l'onde. Tout ce qu'on peut dire, c'est que cette association n'est ni causale, ni substantive. Le corpuscule et l'onde ne sont pas des choses liées par des mécanismes. Leur association est d'ordre mathématique ; on doit les comprendre comme des moments différents de la mathématisation de l'expérience.

Le conflit est d'ailleurs atténué quand on interprète, avec les théories récentes, les ondes comme des probabilités de présence pour les corpuscules. L'onde se présente alors nettement comme une expression mathématique s'étendant normalement à des *espaces de configuration* dont le nombre de dimensions dépasse le nombre trois, caractéristique de l'espace intuitif. On comprend alors qu'il soit pour ainsi dire naturel de repasser de ces espaces algébriques à l'espace ordinaire qui ne doit plus être pris, dans la nouvelle

pensée, que comme un moyen d'illustration, un lieu propice pour nos images, sans pouvoir jamais être le canevas adéquat des relations complètes. Ainsi, à l'égard de ce problème philosophique posé par les espaces de configuration, il y a lieu, croyons-nous, de tenter une transmutation des valeurs réalistes. On accuse toujours ces espaces de n'être que des ensembles factices (1). Ils offrent pourtant à la pensée mathématique le maximum de généralité, d'homogénéité, de symétrie. Du point de vue de la pensée synthétique, ils sont en quelque sorte plus réels que l'espace ordinaire. On peut les considérer comme de véritables formes *a priori* de la schématisation. Dès l'instant où l'on veut donner un schéma d'un ensemble multiple c'est à des espaces de configuration qu'il faut s'adresser. Ce sont les espaces quasi naturels pour les études de la probabilité. Comme on le sait, toute étude sur des relations impliquant la probabilité réclame une vue sur des éléments très nombreux. Cette vue implique un espace riche en dimensions. C'est dans de tels espaces qu'il faut chercher à comprendre le sens de l'onde réglant la probabilité de présence des corpuscules. On retournera ensuite au cas de l'espace ordinaire rempli d'une matière lourde et lente où les jeux du hasard sont assez monotones pour apparaître sous l'aspect de lois constantes. De toute manière, ce n'est pas cette trop pauvre expérience du probable prise dans la macrophysique qui peut servir de guide ; cette expérience dont l'expres-

(1) Le physicien JEANS dit justement qu'un espace à dix dimensions n'est ni plus ni moins réel que notre espace à trois dimensions, *The mysterious Universe*, p. 129.

sion est trop réaliste doit être révisée pour recevoir son sens probabilitaire. En étudiant les conceptions mathématiques qui pénètrent peu à peu la chimie contemporaine, nous disions en forme de conclusion polémique que la consistance d'une substance chimique est d'ordre numéral et probabilitaire. Concluons ici de la même manière : l'onde est un tableau de jeux, le corpuscule est une chance.

Le problème du réalisme des ondes et des corpuscules va donc peu à peu se confondre avec le problème du déterminisme et de la probabilité. Nous allons aborder ce dernier problème dans un chapitre spécial.

CHAPITRE V

DÉTERMINISME ET INDÉTERMINISME LA NOTION D'OBJET

EN nous plaçant autant que possible sur le plan psychologique, nous allons indiquer d'abord comment les notions contraires de déterminisme et d'indéterminisme ont pu tour à tour s'imposer à l'esprit scientifique moderne. Nous essaierons ensuite de montrer que ces principes sont solidaires de nos conceptions sur les choses, l'espace, le temps, les formes, les fonctions. Ils doivent donc, d'après nous, être replacés sur un plan psychologique complexe et saisis dans l'ambiguïté de l'expérience et du sentiment. Nous nous apercevrons alors que notre psychologie du déterminé et de l'indéterminé est presque parallèle de la psychologie de l'unité et de la pluralité. Nous aurons alors tous les éléments pour poser le problème de la connaissance probable.

I

Si l'on voulait retracer l'histoire du Déterminisme, il faudrait reprendre toute l'histoire de l'Astronomie. C'est dans la profondeur des Cieux que se dessine

l'Objectif pur qui correspond à un Visuel pur. C'est sur le mouvement régulier des astres que se règle le Destin. Si quelque chose est fatal dans notre vie, c'est d'abord qu'une étoile nous domine et nous entraîne. Il y a donc une philosophie du Ciel étoilé. Elle enseigne à l'homme la loi physique dans ses caractères d'objectivité et de déterminisme absolus. Sans cette grande leçon de mathématique astronomique, la géométrie et le nombre ne seraient probablement pas aussi étroitement associés à la pensée expérimentale ; le phénomène terrestre a une diversité et une mobilité immédiates trop manifestes pour qu'on puisse y trouver, sans préparation psychologique, une doctrine de l'Objectif et du Déterminisme. Le Déterminisme est descendu du Ciel sur la Terre.

Plus près de nous, c'est l'astronomie newtonienne qui a donné sa rigueur à la doctrine des catégories kantienne, son absolu aux formes *a priori* d'espace et de temps. C'est cette astronomie qui a fondé la Physique mathématique moderne. Les phénomènes astronomiques représentent en quelque sorte la forme la plus objective et la plus étroitement déterminée des phénomènes physiques. L'astronomie est donc la connaissance la plus apte à donner à l'esprit scientifique des habitudes fondamentales, des formes, qui pour n'être pas *a priori* dans la perception, pourraient être assez justement dites *a priori* dans la réflexion. Ainsi, à suivre le développement de l'astronomie jusqu'au siècle dernier, on peut se rendre compte du double sens que comporte le Déterminisme, pris tantôt comme un caractère fondamental du phénomène, tantôt comme la forme *a priori* de la connaissance objective. Souvent c'est le passage

subreptice d'un sens à l'autre qui apporte une confusion dans les discussions philosophiques.

Cette origine astronomique du Déterminisme nous paraît expliquer la longue négligence des philosophes pour les problèmes relatifs aux perturbations, aux erreurs, aux incertitudes dans l'étude des phénomènes physiques. C'est dans cette frange d'erreurs que se fondera tardivement l'Indéterminisme scientifique. Sur le plan même de l'Astronomie, on ne doit pas oublier que la pensée relative aux perturbations est une pensée essentiellement moderne. Delambre nous rappelle que, d'après Pemberton, c'est la marque d'un grand jugement chez Newton d'avoir négligé quelques inégalités peu importantes. On a souvent fait observer que la précision dans les mesures astronomiques aurait nui à la découverte des lois. Pour que le monde parût réglé, il fallait que les lois découvertes en premier lieu fussent mathématiquement simples. Le déterminisme ne pouvait s'imposer que par l'intermédiaire d'une mathématique vraiment élémentaire. C'est cette mathématique élémentaire qui a renforcé par une sorte de trait de nécessité la liaison constante que semblait présenter un empirisme plus ou moins simplifié. L'observation plus ou moins exacte se doublait d'une prévision plus ou moins précise pour fonder en fait comme en droit le Déterminisme.

Le problème de la *forme* des objets astronomiques serait peut-être encore plus instructif que le problème de leur trajectoire. Pendant longtemps, on voulut que les corps célestes fussent géométriquement simples. Aussi quel prodigieux étonnement quand les mesures géodésiques révélèrent la forme aplatie du globe

terrestre ! C'est alors qu'on appelle de Maupertuis « l'intrépide aplatisseur de la Terre ! » Et pourtant, que la Terre fût sphérique, quelle autre preuve en avait-on que le fait qu'on pouvait en faire le tour ? On avait d'ailleurs la conviction que la forme n'intervenait pas dans le mouvement, que c'était un élément qui n'avait pas d'importance pour la prévision des faits astronomiques ; on s'appuyait tacitement sur une hiérarchie des caractères ; on éliminait les caractères secondaires. C'est cette hiérarchie qui donne une impression de rigueur au Déterminisme.

En résumé, la conception mathématique du Monde est d'abord inspirée par l'intuition des formes simples. Cette intuition conduit à résister longtemps à l'idée de déformation des corps célestes et à l'idée de la perturbation des trajectoires. Le Déterminisme est alors une conséquence de la simplicité de la géométrisation première. Le sentiment du *déterminé*, c'est le sentiment de l'ordre fondamental, le repos d'esprit que donnent les symétries, la sécurité des liaisons mathématiques.

Une fois qu'on a compris que la psychologie du Déterminisme est dérivée des efforts pour rationaliser le réel, on pénètre mieux dans la psychologie de la *déformation* et de la *perturbation*. L'idée même de déformation et de perturbation — idée qui ne prend vraiment tout son sens qu'avec le développement scientifique du XIX^e siècle — prouve qu'on garde en esprit et la loi et la forme premières. C'est à partir de cette forme et de cette loi qu'on pense les dérogations. Il y a là une curieuse pensée en deux temps. Le déterminisme est contemporain de la première information. La désorganisation apportée par les perturbations

reste, croit-on, superficielle. C'est ainsi que l'astronomie et la géométrie mêlées mettent d'abord à l'abri du doute le caractère déterminé du devenir phénoménal.



Si l'on pouvait oublier maintenant la leçon philosophique initiale de l'Astronomie et si l'on considérait de prime abord le phénomène terrestre dans son aspect immédiat, on reconnaîtrait que l'*observation* ne peut guère nous apprendre le Déterminisme. C'est là, selon nous, un point très important, car c'est l'observation immédiate, ce n'est pas la réflexion ni l'expérimentation, qui donne les premières formes psychologiques. On comprendra alors la nécessité où l'on est d'*enseigner* le Déterminisme, en rectifiant l'observation par l'expérimentation. Une seule remarque philosophique suffit à prouver que l'observation immédiate ne livre pas le déterminisme : *le déterminisme ne lie pas tous les aspects du phénomène avec la même rigueur*. La division de la pensée en *loi* et *perturbation* est une division qui doit être refaite à propos de chaque étude particulière. Dans l'étude du devenir des phénomènes, les lignes expérimentales sont marquées de place en place par des sortes de nœuds. Le déterminisme va d'un nœud au nœud suivant, d'une cause bien définie à un effet bien défini. Il suffit de considérer l'entre-nœud pour voir des processus particuliers dont on a tacitement postulé l'inefficacité. Donnons un exemple grossier. La craie et le vinaigre font effervescence dès qu'ils sont en présence. La durée même du phénomène n'influe pas sur le résultat final. On peut donc prendre la durée comme uni-

forme. Cependant si l'on voulait étudier le détail de l'évolution on se rendrait compte qu'un autre enchaînement temporel doit être placé dans l'entre-nœud. L'évolution a une histoire. Il n'y a donc pas de déterminisme sans un choix, sans une mise à l'écart des phénomènes perturbants ou insignifiants. Très souvent d'ailleurs un phénomène est insignifiant parce qu'on néglige de l'interroger. Au fond, l'esprit scientifique ne consiste pas tant à observer le déterminisme des phénomènes qu'à déterminer les phénomènes, qu'à prendre les précautions pour que le phénomène défini au préalable se produise sans d'excessives déformations.

Cet esprit de simplification qui est à la base de la conception déterministe explique précisément le succès de l'hypothèse mécaniste. Jamais peut-être l'*explication* et la *description* n'ont été si éloignées l'une de l'autre que dans l'ère du mécanisme. Si l'on replaçait la description à la base de la phénoménologie, on se rendrait tout de suite compte que le déterminisme est un postulat de la mécanique et qu'il n'est vérifié que dans la proportion bien minime où la mécanique explique le phénomène. D'où l'idéal de la période mécanistique : pour que tout soit déterminé dans le phénomène il faut que tout y soit réductible aux propriétés mécaniques.

On pourrait ajouter que notre croyance au déterminisme des phénomènes repose sur une réduction des phénomènes à la mécanique classique *élémentaire*. En effet, M. Cartan fait les remarques suivantes (1) : « Au

(1) Le parallélisme absolu et la théorie unitaire du champ, apud, *Rev. de méta. et de mor.*, janvier 1931, p. 32.

sens ordinaire du mot, affirmer le déterminisme physique, c'est affirmer que l'état de l'Univers à un moment donné détermine complètement son évolution ultérieure. Il faut, bien entendu, préciser ce qu'on entend par *état* de l'Univers. La mécanique classique du point matériel est conforme au déterminisme, à condition d'appeler état d'un point à un instant donné l'ensemble de sa position *et de sa vitesse*... Ce qui complique un peu les choses, c'est précisément que la théorie de la relativité nous a appris que le temps est inséparable de l'espace ; parler de l'état de l'Univers à un instant donné n'a donc pas un sens absolu ; il faut en réalité parler de l'état de l'Univers dans une section à trois dimensions de l'espace-temps. Mais alors se présentent d'autres difficultés sur lesquelles M. Hadamard a attiré l'attention. Il y a en réalité un déterminisme mathématique et un déterminisme physique. Il peut arriver que l'état de l'Univers dans une section à trois dimensions entraîne l'état de l'Univers dans les sections voisines *sans que le physicien puisse le constater* : cela tient à ce qu'une très faible variation de l'état de l'Univers dans la section donnée peut dans certains cas entraîner des variations énormes dans une section aussi voisine qu'on veut de la première : la dépendance des états dans les deux sections est ainsi complètement masquée au physicien. » Ainsi le déterminisme mathématique fondé sur des conséquences ne s'applique pas aussi exactement qu'on le croit sur un déterminisme physique qui serait fondé sur une cause. Autrement dit la cause n'est pas toujours définissable en termes mathématiques univoques. Elle est un état choisi parmi d'autres états possibles. Et ce luxe de

possibilités ne repose pas sur le choix d'un instant particulier pris sur l'axe de la durée absolue ; il est déjà fondé dans *un instant unique* sur lequel on peut appuyer des coupures différemment orientées dans l'espace-temps. Parler d'un *état* de l'Univers à *un instant* déterminé, c'est se livrer non seulement à l'arbitraire de l'instant choisi, mais encore à l'arbitraire de l'état dans l'instant même.

D'ailleurs d'autres simplifications arbitraires de nature plus simple sont visibles. On a souvent fait la remarque que la mécanique se présentait historiquement comme une mécanique du solide. Tout ce qui touche à la mécanique des fluides est beaucoup plus tardif. On ne doit pas alors s'étonner de voir le déterminisme illustré par les relations des solides entre eux. Dans le rebondissement de deux solides après un choc, on reverra, croit-on, les mêmes *choses* dans des mouvements différents ; on prendra le droit de déterminer *tout* le phénomène par l'analyse des mouvements avant et après le choc, comme si l'on avait là l'analyse suffisante du phénomène cause et du phénomène effet. On le voit, le déterminisme est solidaire d'une analyse métaphysique de la phénoménologie séparée en deux aspects : la chose et le mouvement. Nous examinerons par la suite la validité de ce dualisme métaphysique. Dès maintenant, on voit qu'il suffirait de placer l'observateur devant les phénomènes plus complexes de l'hydrodynamique pour amener un véritable trouble dans les intuitions fondamentales du Déterminisme. Comme la *chose liquide* est déformée par le mouvement, il semble que le *même* et l'*autre* interfèrent et que le déterminisme se divise et devienne ambigu. Quand on résiste à cette conclusion

et qu'on prend les phénomènes de l'hydrodynamique comme *clairement* déterminés c'est précisément qu'on introduit dans leur étude les intuitions du déterminisme appris dans la mécanique des solides.

En résumé, toutes ces observations générales tendent à prouver que la psychologie du déterminisme est faite de véritables restrictions expérimentales. Qu'on considère les enseignements de l'astronomie et de la mécanique, qu'on revive les intuitions formées devant le phénomène immédiat, on voit que le Déterminisme part de choix et d'abstractions et que, peu à peu, il devient une véritable technique. Le déterminisme scientifique se prouve sur des phénomènes simplifiés et solidifiés : le causalisme est solidaire du chosisme. Le déterminisme mécanique se prouve sur une mécanique mutilée, livrée à l'analyse incorrecte de l'espace-temps. Le déterminisme de la science physique se prouve sur des phénomènes hiérarchisés, en majorant des variables particulières. Le déterminisme de la science chimique se prouve sur des corps purifiés, en se référant à des qualités énumérées. Si l'on réfléchit maintenant que ces intuitions mécaniques simplifiées correspondent à des mécanismes simples, que ces phénomènes physiques techniquement hiérarchisés sont aussi de véritables machines, que les corps purifiés sont enfin de véritables *constructions* chimiques, on doit être frappé du caractère *technique* du déterminisme scientifique. Le véritable ordre de la Nature, c'est l'ordre que nous mettons techniquement dans la Nature. Peu à peu quand on en vient aux preuves précises et surtout à l'enseignement du déterminisme on s'aperçoit que pour enseigner correctement le déterminisme il faut

soigneusement garder les formes, trier les lois, purifier les corps, faute de quoi l'évolution du phénomène n'apprendra à l'observateur qu'émerveillement et fantaisie.



Le problème du Déterminisme placé ainsi sous le jour d'un enseignement nécessaire à la constitution d'un esprit scientifique n'est pas aussi mal posé qu'on pourrait le croire, car en ce qui concerne la psychologie de l'esprit scientifique, la voie de l'enseignement reste une voie de pensée toujours effective. Il n'en irait pas de même si l'esprit scientifique reposait sur des croyances, sur des éléments statiques, sur des axiomes non discutés. C'est alors qu'on pourrait s'imaginer que la croyance au déterminisme est à la base de toutes nos pensées, en dehors aussi de toute discussion. Or il n'est pas difficile de montrer que le Déterminisme est précisément l'objet d'une discussion, le sujet d'une polémique presque journalière dans l'activité du laboratoire. Pris de ce biais, le problème du Déterminisme va nous conduire à classer les arguments, à diviser encore les notions, tâche modeste mais qui nous paraît utile parce qu'il faut arriver à dissoudre cet énorme bloc du Déterminisme métaphysique qui pèse sur la pensée scientifique. Nous distinguerons donc le déterminisme négatif et le déterminisme positif. Nous ne prétendons pour l'instant qu'une chose, c'est que cette distinction est légitimée par la polémique de la preuve. Si quelqu'un doute qu'une ligne particulière de phénomènes peut être conçue comme déterminée, on se mettra à défi-

nir un état du phénomène et l'on prédira un état subséquent du phénomène évolué qu'on définira avec le plus de précision possible. La preuve sera d'autant plus convaincante que le phénomène sera décrit avec le plus d'exactitude. Mais cette exactitude a des limites. C'est alors qu'on sera obligé d'avouer une légère ignorance, une légère fluctuation dans la prédiction. On sera par contre beaucoup plus dogmatique pour prédire ce que le phénomène attendu *ne sera pas*. Là, on touchera l'absolu, le catégorique, le déterminé sans tache. On sera absolument sûr que la charge portée par un aimant de poche ne dépassera pas un kilogramme, comme une compagnie d'assurance est absolument sûre que la vie d'aucun client ne dépassera mille ans. Si le moindre doute se manifeste, c'est à de telles exagérations qu'on aura recours pour restituer la foi. La psychologie du Déterminisme se fonde ainsi dans une sorte de zone vide. La foi revenue, on retourne aux prédictions positives ; on dit bien ce que le phénomène sera : on prêche des convaincus prêts à reconnaître le phénomène à un signe. Mais reconnaître n'est pas connaître. On reconnaît facilement ce qu'on ne connaît pas.

Ici, une objection se présente. N'y a-t-il pas des signes distinctifs, des signes péremptoires ? Ainsi un précipité chimique a une couleur qui suffit à reconnaître et à prédire l'issue d'une réaction. Cette couleur est sans doute caractéristique, elle désigne bien un corps parmi d'autres corps. Qu'on aille cependant au fond de la certitude du chimiste, on s'apercevra qu'elle s'énonce aussi sous forme d'*exclusions* progressives, en écartant précisément les cas où il y aurait ambiguïté. De plus, quand le chimiste a

identifié le métal d'un sel, il n'a rien dit sur la pureté du sel, par conséquent il n'a pas éliminé la présence d'autres métaux à l'état d'impureté. Il suffirait d'être exigeant, c'est-à-dire de demander plus de précision sur les produits obtenus dans une réaction, pour faire vaciller la prophétie de l'expérimentation. Finalement le vrai déterminisme se fonde psychologiquement sur des jugements négatifs. Seul le déterminisme nihiliste termine la polémique interminable de la preuve positive. La communion des esprits se réalise dans la négation. L'union objective parfaite se fonde sur une sorte de non-objet.



Ces réflexions préliminaires ne font qu'analyser sur le plan psychologique les conditions de la preuve pour le Déterminisme. Elles peuvent donner une mesure de la détermination des phénomènes en faisant le bilan de ce qui est nécessaire pour qu'un phénomène paraisse déterminé, en précisant les éléments de la description qui valent pour la prévision.

Quand on a rendu ce bilan explicite, on se rend compte que la causalité et le déterminisme ne sont point absolument synonymes et que la psychologie de la cause est loin d'être aussi solidaire qu'on le croit de la psychologie du déterminisme. Comme le dit très bien von Mises (1) : « Le principe de causalité est mobile (*wandelbar*) et il se subordonne à ce que la physique exige. » Nous dirions plus généralement que

(1) VON MISES, Ueber kausale und statistische Gesetzmässigkeit in der Physik, apud *Die Naturwissenschaften*, 14 fév. 1930, p. 146.

le principe de causalité se subordonne à ce que la pensée objective exige et qu'en cela il peut bien être dit encore la catégorie fondamentale de la pensée objective. En effet la psychologie de l'idée de cause s'est constituée sans s'astreindre aux définitions ultra-précises que nous réclamions pour fonder le Déterminisme. De la cause à l'effet, il y a une liaison qui, jusqu'à un certain point, subsiste en dépit des défigurations partielles de la cause et de l'effet. La causalité est donc beaucoup plus générale que le déterminisme. Elle est d'ordre qualitatif, alors que le déterminisme est d'ordre quantitatif. Quand la chaleur dilate les corps ou qu'elle en transforme la couleur, le phénomène enseigne la cause en toute certitude sans cependant prouver le déterminisme. Il serait impossible de le prouver positivement, disons-le une fois de plus, si l'on entrait dans la définition minutieuse des états. En fait, la dilatation des solides est un phénomène statistique qui relève de la probabilité au même titre que la dilatation des gaz. Cette dernière assimilation, par la résistance première qu'elle rencontre dans un esprit inattentif, suffit à prouver l'injustice du privilège attribué aux intuitions des solides.

Si l'on nous suivait dans notre effort de distinction des concepts fondamentaux de l'épistémologie, on pourrait peut-être accepter, pour rendre compte de la confusion constante du déterminisme et de la causalité, une sorte de *déterminisme topologique* qui correspondrait à des liaisons fonctionnelles et qui opérerait dans le devenir sur des ensembles généraux, de la même manière qu'opère dans l'être géométrique l'*Analysis Situs*. On verrait alors se constituer une

Analysis Crisis qui irait d'un phénomène organique à un autre phénomène organique. Qu'importe la quantité quand la qualité reste manifeste ! Qu'importe même l'ensemble des qualités quand certaines qualités restent caractéristiques ! L'analyse causale est fondée sur une hiérarchie évidente des qualités et pour cette analyse, la détermination de la quantité est de peu d'intérêt.

Ce n'est pas là une simple vue de l'esprit philosophique ; en fait, c'est bien ainsi que pensent le mathématicien et l'expérimentateur. Le savant ne mesure pas toujours ; il tâche d'abord de saisir la correspondance des phénomènes et il pense souvent cette correspondance sans en mesurer toutes les variations. C'est dans la liaison de signe à signe, plus souvent que dans la liaison de nombre à nombre qu'il trouve les leçons premières du déterminisme. Sa foi est rigoureuse parce que certaines expériences échappent au souci de rigueur. Par-delà les vérifications métriques souvent dispersées, il y a donc place pour les vérifications du déterminisme topologique qui nous montre qu'un phénomène ne se défigure pas dans une légère variation de ses traits.

Nous allons d'ailleurs reprendre le problème à un point de vue diamétralement opposé. Nous allons nous demander comment la psychologie de l'indéterminisme a pu se faire jour dans l'esprit scientifique lui-même. Nous verrons qu'en partant de la considération des phénomènes désordonnés, le savant a eu la surprise de voir s'imposer à lui le même déterminisme d'ensemble, fondé sur des permanences plus ou moins légitimes, plus ou moins exactes, mais dont l'existence est cependant assurée.

II

Si l'on reste, comme il convient, sur le terrain scientifique, les premières thèses indéterministes à considérer sont celles qui forment la base de la théorie cinétique des gaz. Cette théorie a apporté une transformation profonde et durable de l'esprit scientifique. Elle a frappé maints philosophes. M. Abel Rey, entre autres, en a dégagé l'importance philosophique dans plusieurs de ses livres. Nous pouvons donc être bref.

A notre avis, le caractère métaphysique le plus profond de la théorie cinétique des gaz, c'est qu'elle réalise une transcendance de la qualité, en ce sens qu'une qualité n'appartenant pas aux composants appartient cependant au composé. C'est contre cette transcendance que protestent sans fin les esprits logiques. Pour ne donner qu'un exemple tout récent, citons cette page de M. Peter A. Carmichael (1). Il signale comme une erreur importante le fait que le comportement des éléments est « imprédictable (c'est-à-dire, pour la physique contemporaine, indéterminé), tandis que le comportement moyen d'un grand nombre d'éléments est prédictable (c'est-à-dire déterminé). En d'autres termes, l'objet individuel est indéterminé, la classe déterminée. Mais cela viole clairement l'axiome *de omni et nullo* et par conséquent est contradictoire en soi. La même conclusion s'applique à toutes les prétendues lois et aux probabilités statistiques dans lesquelles une propriété est affirmée d'une classe d'objets et déniée aux objets pris séparément, puisqu'autrement il y aura une lacune entre la classe et

(1) Logic and scientific law, apud *Monist*, April 1932.

les objets... Le seul moyen laissé au Scientiste est de nier l'axiome *de omni et nullo*, c'est-à-dire de parler en termes contradictoires en soi, et c'est ce qu'il fait quand il souscrit à la doctrine de l'indéterminisme ». C'est cependant cette contradiction métaphysique qu'il faut transcender. En réalité, elle est tempérée par l'intermédiaire de la notion de probabilité. Or la logique de la probabilité est loin d'être constituée et l'axiome *de omni et nullo* qui vaut pour les compositions d'objets ne s'applique pas sans réserve à des probabilités composées.

Sans insister davantage sur la question préalable des logiciens, essayons donc de circonscrire l'indéterminisme. On suppose à la base de la construction des comportements imprévisibles. On ne sait rien par exemple sur l'atome qui n'est pris que comme le sujet du verbe rebondir dans la théorie cinétique des gaz. On ne sait rien sur le temps où s'accomplit le phénomène du choc ; comment le phénomène élémentaire serait-il prévisible alors qu'il n'est pas « visible » c'est-à-dire susceptible d'une description précise ? La théorie cinétique des gaz part donc d'un phénomène élémentaire indéfinissable, indéterminable. Certes indéterminable n'est point synonyme d'indéterminé. Mais quand un esprit scientifique a fait la preuve qu'un phénomène est indéterminable, il se fait un devoir de méthode de le tenir pour indéterminé. Il apprend l'indéterminisme sur l'indéterminable.

Or mettre en œuvre une méthode de détermination à propos d'un phénomène, c'est supposer que ce phénomène est sous la dépendance d'autres phénomènes qui le déterminent. D'une manière parallèle,

si l'on suppose l'indétermination d'un phénomène, on suppose du même coup son indépendance. L'énorme pluralité que représentent les phénomènes de choc entre les molécules d'un gaz se révèle donc comme une sorte de phénomène général pulvérisé où les phénomènes élémentaires sont strictement indépendants les uns des autres.

C'est alors que peut intervenir le calcul des probabilités. Sous sa forme la plus simple, ce calcul est fondé sur l'indépendance absolue des éléments. S'il y avait la moindre dépendance, il y aurait un trouble dans l'information probabilitaire et il faudrait un effort toujours difficile pour tenir compte d'une interférence entre les liaisons de dépendance réelle et les lois de stricte probabilité.

Voilà donc quelle nous semble être la ligne de concepts qui a intronisé la probabilité dans la pensée scientifique.

Or la psychologie de la probabilité est loin d'être constituée, elle a contre elle toute la psychologie de l'action. L'*homo faber* fait tort à l'*homo aleator* ; le réalisme fait tort à la spéculation. Il y a des mentalités de physicien impénétrables à l'idée des constructions de probabilité. Henri Poincaré rappelle la curieuse incompréhension de Lord Kelvin à cet égard. « Chose étrange, dit Poincaré (1), Lord Kelvin était à la fois séduit et sur certains points réfractaire. Il n'a jamais pu se rendre compte de la généralité du théorème de Maxwell-Boltzmann. Il supposait que ce théorème devait comporter des exceptions et, quand on lui avait montré qu'une exception qu'il

(1) POINCARÉ. *Savants et écrivains*, p. 237.

avait cru découvrir n'était qu'apparente, il en cherchait une nouvelle. » Ainsi Lord Kelvin, qui « comprenait » les phénomènes naturels à l'aide de modèles gyroscopiques, trouvait, en quelque manière, irrationnelles les lois du calcul des probabilités.

C'est à assimiler cette notion des lois du hasard, des liaisons probabilitaires des phénomènes sans liaison réelle, qu'est occupée la pensée scientifique contemporaine. Cette pensée naissante est caractérisée par une multiplicité dans les hypothèses de base. Nous en sommes sur ce point au règne des hypothèses de travail. Nous accueillons des méthodes statistiques différentes qui ont une efficacité limitée. Les principes de la statistique de Bose-Einstein d'une part, ceux de la statistique de Fermi d'autre part, bien que contradictoires, rendent des services dans des parties différentes de la physique.

Malgré ses bases incertaines, la phénoménologie probabilitaire a déjà réalisé des constructions remarquables. Comme nous le disions un peu plus haut, ces constructions paraissent transcender les domaines qualitatifs séparés. Ainsi la notion de température est expliquée cinétiquement. A vrai dire cette transcendance est peut-être plus verbale que réelle. Comme le dit très bien M. Eugène Bloch (1) « le principe de l'équivalence de la chaleur et du travail est en quelque sorte matérialisé dès le début par la conception même que l'on se fait de la chaleur ». Il n'en est pas moins vrai que les qualités s'expriment l'une par l'autre et que même en supposant une base mécanique à la théorie cinétique des gaz, la véritable force explicative

(1) Eugène BLOCH, *La théorie cinétique des gaz*, p. 2.

réside dans la *composition des probabilités*. Ainsi il faut toujours en venir à accepter l'expérience de la probabilité. Il y a place pour un positivisme du probable, à vrai dire assez difficile à situer entre le positivisme de l'expérience et le positivisme de la raison.

Il ne faudrait pas croire que probabilité et ignorance soient synonymes du fait que la probabilité s'appuie sur l'ignorance des causes. Comme le dit avec une grande finesse M. Margenau (1) : « Il y a une grande différence entre ces deux expressions : un électron est quelque part dans l'espace, mais je ne sais où, je ne peux connaître où ; et : chaque point est une place également probable pour l'électron. En effet, la dernière affirmation contient en plus de la première l'assurance que si j'exécute un très grand nombre d'observations, les résultats seront distribués régulièrement dans tout l'espace. » On voit donc poindre le caractère tout positif de la connaissance probable.

Il ne faut pas davantage assimiler le probable à l'irréel. L'expérience de la probabilité peut rendre raison de nos coefficients d'attente psychologique à l'égard des probabilités plus ou moins nettement arithmétisées. Le problème est sans doute bien imprécis qui réunit ainsi deux masses vagues et confuses, mais il n'est point irréel. Peut-être pourrait-on même parler d'une causalité du probable. On ne méditera jamais trop longuement le principe probabilitaire proposé par Bergmann (2) : « L'événement qui possède la plus grande probabilité mathématique arri-

(1) MARGENAU, *Monist*, July 1929, p. 29.

(2) BERGMANN, *Der Kampf um das Kausalgesetz in der jüngsten Physik*, p. 49.

vera dans la nature avec une fréquence plus grande correspondante. » Le *temps se charge de réaliser le probable*, de rendre effective la probabilité. Il y a passage d'une loi en quelque manière statique, calculée à partir des possibilités additionnées sur un instant, à un développement temporel. Ce n'est pas parce que les probabilités sont exposées d'habitude comme des occurrences que le phénomène qu'elles désignent doit arriver. De la probabilité *a priori* à la probabilité *a posteriori* il y a le même abîme qu'entre la géométrie logique *a priori* et une description géométrique *a posteriori* du réel. Qu'il y ait alors coïncidence entre la probabilité calculée et la probabilité mesurée, c'est peut-être la preuve la plus délicate, la plus subtile, la plus convaincante de la perméabilité de la nature pour la raison. Cette rationalisation de l'expérience du probable doit sans doute se réaliser par la correspondance de la probabilité et de la fréquence. Campbell posera aussi dans l'atome une sorte de réalisme du probable « l'atome est *a priori* plus apte à prendre l'un des états plus favorisés que l'un des moins » (1). Ainsi la réalité aidée par la durée finit toujours par incorporer le probable à l'être.

Quoi qu'il en soit d'ailleurs de cette vue métaphysique, on peut du moins retenir que la science moderne nous habitue à manier de véritables formes probables, des choses statistiques, des objets doués de qualités hiérarchiques dont la permanence n'est point absolue. Nous avons dit ailleurs l'intérêt pédagogique qu'il y aurait à doubler l'instruction que nous recevons des

(1) N. R. CAMPBELL, *Théorie quantique des spectres*, trad. 1924, p. 100.

solides par l'instruction que nous pourrions recevoir des fluides, des pâtes, des agglomérés. Nous retrouverions dans cette voie, au-dessus de l'indéterminisme de base, ce déterminisme topologique des allures générales qui accepte à la fois les fluctuations et la probabilité. Les phénomènes pris dans leur indétermination élémentaire peuvent donc être *composés* par la probabilité et prendre ainsi des figures d'ensemble. C'est sur ces figures d'ensemble que joue la causalité.

*
* *

M. Hans Reichenbach a indiqué en quelques pages lumineuses les rapports exacts de l'idée de cause et de l'idée de probabilité (1). Il montre que les lois les plus rigoureuses appellent l'interprétation probabilitaire. « Les conditions que l'on soumet au calcul ne sont, en fait, jamais réalisées ; ainsi, dans le calcul du mouvement d'un point matériel, d'un projectile par exemple, nous sommes dans l'impossibilité de tenir compte de tous les facteurs qui interviennent. Si néanmoins nous pouvons faire d'excellentes prévisions, nous le devons à la notion de probabilité, qui exprime une loi pour les facteurs non considérés dans le calcul. » Et il conclut que toute application au réel des lois causales implique une considération de probabilité. Il propose de remplacer l'énoncé causal traditionnel par les deux suivants.

« I. Si l'on décrit un phénomène au moyen d'un

(1) REICHENBACH, *La philosophie scientifique*, trad. VOUILLEMIN, 1932, p. 26, 27, 28.

certain nombre de paramètres, l'état ultérieur, pareillement défini avec un nombre de paramètres bien déterminé, peut être prévu avec une probabilité E.

« II. Cette probabilité E se rapproche de l'unité au fur et à mesure de l'augmentation du nombre des paramètres dont il est tenu compte. »

Si par conséquent on pouvait tenir compte de *tous* les paramètres, d'une expérience réelle — si le mot *tous* avait un sens dans une expérience réelle — on pourrait dire que le phénomène produit est certain dans tous ses détails, qu'il est entièrement prédéterminé. En raisonnant ainsi on passe à la limite et c'est ce passage à la limite qu'effectuent sans précaution les philosophes déterministes. Ils se donnent en pensée *toutes* les conditions sans se demander si elles sont dénombrables, si par conséquent on peut vraiment se donner « ces données ». En réalité, le savant opère toujours en suivant implicitement le premier énoncé et en s'appuyant sur quelques paramètres caractéristiques ; c'est à propos de ces paramètres que la science fait œuvre de prévision. Ces paramètres forment les axes de la prévision. Mais du seul fait qu'on a négligé des éléments, la prévision ne s'exprime que d'une manière probabilitaire. En résumé, il peut y avoir convergence de l'expérience vers le déterminisme, mais définir le déterminisme autrement que comme une perspective convergente de probabilité c'est commettre une erreur insigne. Comme le dit fort bien M. Reichenbach, « souvent on oublie cette définition au moyen d'un énoncé de convergence ; alors interviennent des représentations tout à fait erronées à propos du concept de causalité, celle en particulier que la notion de probabilité peut être écartée. Ce

sont des conclusions fausses, comme il s'en présente quand on définit la notion de dérivée par le rapport de deux grandeurs infiniment petites ».

M. Reichenbach fait alors une objection de la plus grande importance. Rien ne prouve *a priori*, dit-il, que la probabilité de toute espèce de phénomène ait nécessairement une convergence vers l'unité. « On pressent ici que les lois causales peuvent être, en fait, nécessairement réduites à des lois statistiques. » En continuant la comparaison de M. Reichenbach nous dirions qu'il peut y avoir des lois statistiques sans convergence causale de même qu'il y a des fonctions continues sans dérivée. Ces lois statistiques seraient associées à une négation du deuxième postulat de Reichenbach. Elles donneraient lieu à une physique non-causale, toujours dans le même style où la négation du postulat d'Euclide permet de définir une géométrie non-euclidienne. En fait, Heisenberg a apporté des raisons organiques pour la négation du deuxième postulat de Reichenbach. A partir de Heisenberg se constitue donc une physique non-déterministe, bien éloignée naturellement de la négation brutale et dogmatique des thèses du Déterminisme classique. La physique indéterministe de Heisenberg absorbe bien plutôt la physique déterministe en fixant avec précision les conditions et les limites dans lesquelles on peut tenir un phénomène pour pratiquement déterminé. Nous devons donc considérer d'un peu plus près les remarques de Heisenberg.

III

Le conflit entre le déterminisme et l'indéterminisme scientifiques était en quelque manière assoupi quand la révolution de Heisenberg est venue remettre tout en cause. Cette révolution ne tend à rien moins qu'à établir une *indétermination objective*. Jusqu'à Heisenberg, les erreurs sur les variables *indépendantes* étaient postulées comme indépendantes. Chaque variable pouvait donner lieu *séparément* à une étude de plus en plus précise ; l'expérimentateur se croyait toujours capable d'isoler les variables, d'en perfectionner l'étude individuelle ; il avait foi en une expérience abstraite où la mesure ne rencontrait d'obstacle que dans l'insuffisance des moyens de mesure. Or avec le principe d'incertitude de Heisenberg, il s'agit d'une corrélation objective des erreurs. Pour trouver la place d'un électron, il faut l'éclairer par un photon. La rencontre du photon et de l'électron modifie la place de l'électron ; elle modifie d'ailleurs la fréquence du photon. En microphysique, il n'y a donc pas de méthode d'observation sans action des procédés de la méthode sur l'objet observé. Il y a donc une interférence essentielle de la méthode et de l'objet.

La remarque générale de Heisenberg a été immédiatement traduite en une inégalité mathématique. Si l'on désigne la position par la variable q et la quantité de mouvement conjuguée par la variable p , il y a entre l'erreur Δq sur q et l'erreur Δp sur p une sorte de compensation qui satisfait à l'inégalité

$$\Delta p \cdot \Delta q \geq h,$$

où h est la constante de Planck. Des variables plus nombreuses s'associent de même par paire en obéissant à cette inégalité fondamentale. On expose le plus souvent la relation entre la précision dans la mesure d'un paramètre de position et la précision dans la mesure d'un paramètre de moment cinétique ; mais on peut aussi bien démontrer son existence entre l'énergie et le temps ; on peut l'établir plus généralement encore dans une interprétation toute mathématique, quand les paramètres ont perdu leur intuitivité.

Finalement, la simple remarque méthodologique de Heisenberg a été systématisée au point qu'elle est désormais inscrite au seuil de toute méthode microphysique, mieux encore, la relation d'incertitude fournit à elle seule une véritable méthode. Elle sert en quelque manière à penser le microphénomène dans ses dualités essentielles. Bohr a remarqué que la relation de Heisenberg était placée à la frontière commune des deux intuitions fondamentales — corpusculaire et ondulatoire. Cette relation forme pour ainsi dire le pivot autour duquel on peut faire tourner les deux intuitions unilatérales. « D'après Bohr, dit Heisenberg (1), on obtient d'une manière très simple cette limitation en partant du principe que tous les faits de physique atomique doivent pouvoir se représenter intuitivement aussi bien du point de vue corpusculaire que du point de vue ondulatoire. » Notons en passant que le domaine atomique se présente comme le lieu de jonction des intuitions contraires, ce qui n'est pas

(1) HEISENBERG (*loc. cit.*, p. 9) fournit une démonstration explicite de la remarque de Bohr.

pour surprendre les philosophes avertis de l'histoire des doctrines atomistiques.

Le dualisme objectif qui résulte de la philosophie de Heisenberg doit sans doute se répercuter dans les associations qualitatives les plus variées. Ainsi dans sa thèse sur « l'électrodynamique et la théorie des Quanta » (1931) M. J. Solomon fait cette remarque (*p.* 2) : comme les champs électrique E et magnétique H sont définis au moyen d'un électron, leur détermination simultanée est en fait frappée de la même impossibilité que la détermination simultanée de la place et de la vitesse d'un électron dans un atome ; dès lors « si l'on tient compte du principe de Heisenberg de n'utiliser que des grandeurs qui soient effectivement mesurables, nous sommes conduits à admettre que E et H ne peuvent être mesurés simultanément ». En appliquant ces simples remarques, presque sans calcul, M. Solomon arrive à prévoir des relations d'incertitude entre les différentes composantes du tenseur électromagnétique et il aboutit à une théorie de la quantification des champs, développée déjà moins directement par Dirac, Pauli, Jordan, Heisenberg.

On ne peut manquer d'être frappé par cette division qualitative qui sépare en quelque manière les caractères électrique et magnétique du champ électromagnétique pour de saines raisons de méthode. La pensée réaliste avait une certaine inclination à *réaliser* le champ électromagnétique. En mettant un trait d'union entre deux adjectifs, en fondant dans le même mot *électromagnétique* deux possibilités expérimentales, le physicien réaliste croyait travailler sous le signe d'un objet réel. Il n'hésitait pas alors à

inscrire le champ dans l'espace même. Il postulait un éther physique pour mieux graver les caractères géométriques des champs dans l'espace. Aussi c'est avec peine qu'il se voit actuellement forcé, par la théorie des quanta, à renoncer à la description du champ électromagnétique en termes de fonctions d'espace et de temps. Il faut cependant passer de la géométrisation intuitive à l'arithmétisation discursive et revenir vers une définition probabilitaire des champs.

A un tout autre point de vue, Einstein semble avoir glissé l'idée de relativité juste dans l'intervalle du caractère électrique et du caractère magnétique de l'ancien champ conçu substantivement comme électromagnétique. En effet, en commentant sa nouvelle théorie du champ unitaire il écrit : « Le même état de l'espace qui apparaît comme un champ purement magnétique pour un certain système de coordonnées est, en même temps, pour un autre système en mouvement par rapport au premier, un champ électrique, et *vice versa* (1). » Cela revient à désigner comme simples apparences les caractères expérimentaux — magnétiques et électriques — qui peuvent être à tour de rôle effacés par des modifications dans la référence géométrique.

IV

Ainsi une des conséquences philosophiques les plus importantes du principe de Heisenberg est sans doute la limitation des attributions réalistiques. Prétendre

(1) Cité par M. METZ, La théorie du champ unitaire de M. Einstein, in *Rev. phil.*, nov. 1929, p. 393.

dépasser les bornes des relations d'incertitude, c'est employer les mots *position* et *vitesse* en dehors du domaine où ils ont été définis, où ils sont définissables. En vain on objectera que des notions si fondamentales ont un sens universel ; il faudra toujours convenir que les qualités géométriques n'ont aucun droit à être appelées des qualités premières. Il n'y a que des qualités secondes puisque toute qualité est solidaire d'une relation.

Pour expliquer l'injuste confiance que nous avons dans l'absolu de la localisation, il suffit d'ailleurs de se rappeler que cette localisation est à la base du langage et que toute syntaxe est d'essence topologique. Mais c'est précisément contre ces entraînements de la pensée parlée que doit réagir la pensée scientifique et Heisenberg fait cette profonde remarque (1) : « On doit se rappeler que le langage humain permet de former des propositions, dont on ne peut tirer aucune conséquence, qui sont, à vrai dire, complètement vides de substance, bien qu'elles produisent dans notre imagination une sorte d'image. Par exemple, l'affirmation qu'il peut exister à côté du nôtre, un autre univers n'ayant par principe aucune relation avec lui, ne conduit à aucune conséquence, mais fait naître en notre esprit une sorte d'image. Bien entendu, une telle proposition ne peut être ni confirmée, ni infirmée. On doit être particulièrement circonspect dans l'emploi du terme *en réalité*, car il entraîne très facilement à des affirmations du genre de celle dont nous venons de parler. » On peut d'ailleurs saisir ce *trouble de la désignation objective* si l'on réflé-

(1) HEISENBERG, *loc. cit.*, p. 11, note.

chit au fait que nous ne communiquons pas avec un atome mais avec un groupe d'atomes. Il est donc manifeste qu'il faut parler d'une réalité collective.

Les conditions philosophiques de l'individuation statistique ont été très clairement analysées par M. Chester Townsend Ruddick (1). Il oppose d'abord l'individuation statistique à l'individuation mécanique usuelle par laquelle chaque objet individuel — disons chaque solide — était connu par sa localisation dans l'espace et dans le temps et ne pouvait être l'objet d'une loi mécanique qu'en tant qu'il était conçu comme une entité séparée et distincte. « Les objets d'une loi statistique, au contraire, peuvent être donnés par une méthode d'individuation entièrement différente. Leur seul trait distinctif peut être leur appartenance à un certain groupe ; ils peuvent être des atomes d'hydrogène ou des hommes, mais non cet atome d'hydrogène ou cet homme. Ils ne se distinguent que des objets extérieurs à leur groupe, ils ne se distinguent pas des objets intérieurs. La loi est établie sur la supposition qu'un membre du groupe est aussi propre que n'importe quel autre à satisfaire certaines conditions. Tous les caractères individualisants sont effacés par l'introduction de l'individu dans le groupe. Sa définition en tant qu'individu est une définition en tant que membre d'un groupe. On pourrait objecter que la même chose pourrait être dite dans le cas des lois mécaniques. La loi universelle de Newton, que *toutes* les particules s'attirent d'une certaine manière, se rapporte aux

(1) On the contingency of natural law, apud *The Monist*, July 1932, p. 361.

membres d'un groupe, à des points dont la caractéristique est par définition qu'ils ont une masse. Mais l'application de cette loi ne dépend pas seulement de la reconnaissance de certains points comme membre du groupe, mais aussi de la considération des différences entre de tels points. Un point particulier ne se comporte comme il le fait en conformité à la loi newtonienne que parce qu'il est particulier. Au contraire, s'il obéissait à une loi statistique, la conformité du point particulier à la loi dépendrait non pas du fait qu'il est différent des autres points, mais bien qu'il est identique aux autres points. » Autrement dit, il faut substituer à l'article défini l'article indéfini et se borner à une compréhension finie dans l'objet élémentaire, en relation précisément à son extension bien définie. On touche désormais le réel par son appartenance à une classe. C'est au niveau de la classe qu'il faudra chercher les propriétés du réel.

Nombreux sont les physiciens qui ont souligné cette perte soudaine de l'individualité dans l'objet élémentaire de la nouvelle physique. C'est en particulier l'avis de M. Langevin, de M. Planck. M. Marcel Boll en signale l'importance philosophique en ces termes (1) : « De même que le concept anthropomorphique de force a été éliminé par la relativité einsteinienne, de même il faut renoncer à la notion d'objet, de chose, tout au moins dans une étude du monde atomique. L'individualité est un apanage de la complexité, et un corpuscule isolé est trop simple pour être doué d'individualité. Cette position de la

(1) BOLL, *L'idée générale de la mécanique ondulatoire et de ses premières explications*, 1923, p. 32.

science actuelle vis-à-vis de la notion de chose paraît cadrer non seulement avec la mécanique ondulatoire, mais avec les nouvelles statistiques et aussi avec la théorie du champ unitaire (Einstein), qui s'efforce de synthétiser la gravitation et l'électromagnétisme. » En ce qui concerne ce dernier point M. R. Ruyer écrit (1) : « Convergence curieuse, dans la nouvelle théorie du champ unitaire d'Einstein, théorie qui n'a pourtant aucun rapport avec la théorie des quanta, l'individualité physique des différents points, qui constituent le fluide matériel ou électrique supposé à l'état continu, est niée » et M. Ruyer renvoie à un article pénétrant de M. Cartan qui conclut lui-même (2). « Le point matériel était une abstraction mathématique dont nous avons pris l'habitude et à laquelle nous avons fini par attribuer une réalité physique. C'est encore une illusion que nous devons abandonner si la théorie unitaire du champ arrive à s'établir. »

M. Meyerson a discuté longuement cette thèse (3). Le savant épistémologue ne lui donne pas son adhésion car il ne peut oublier les références constantes du physicien — pensant en physicien et non en mathématicien — au réalisme usuel. Mais faut-il continuer à distinguer radicalement l'esprit scientifique instruit par les mathématiques et l'esprit scientifique instruit par l'expérience physique ? Si ce que nous avons dit sur la soudaine importance de la Physique mathéma-

(1) RUYER, *Revue philosophique*, juillet 1932, p. 92, note.

(2) CARTAN, *loc. cit.*, p. 28.

(3) MEYERSON, *Réal et déterminisme dans la physique quantitative*, 1933, *passim*.

tique est exact, ne peut-on pas parler d'un nouvel esprit scientifique instruit par la Physique mathématique ? Alors il faudra bien trouver un moyen de concilier le rationalisme et le réalisme. Or n'a-t-on pas ici même un tel moyen puisque les éléments du réel dépourvus d'individualité sont indiscernables et jouent dans des compositions en quelque manière rationnelles puisqu'elles sont trouvées par la raison ? Ce qui nous paraît donner à la position de M. Langevin toute sa force philosophique, c'est qu'il s'agit d'une réalité *postulée*. C'est alors une nécessité de méthode que de refuser l'individualité à cette réalité postulée. On n'a pas plus le droit que le moyen d'inscrire des qualités individuelles dans des éléments qu'on définira par intégration dans un ensemble. Le réalisme *élémentaire* est donc une erreur (1). Dans le domaine microphysique, l'entraînement réaliste doit donc être combattu avec vigilance. La pensée scientifique se trouve ici placée dans une position à peu près analogue à celle où elle se trouvait à la naissance du calcul infinitésimal. Nous sommes devant l'infiniment petit physique dans le même embarras que la pensée géométrique du *xvii^e* siècle devant l'infiniment petit mathématique. Nous devons écouter M. Eddington qui conseille au physicien moderne « un soin scrupuleux de garder les notions (fondamentales) de toute contamination par des conceptions empruntées à l'autre univers ». M. Meyerson voit dans cette prétention une illusion : « Il faut, dit-il (2), que, par un côté, le concept de la théorie scientifique rappelle celui du

(1) Cf. DUPRÉEL, *De la nécessité*, p. 25.

(2) MEYERSON, *loc. cit.*, p. 19.

sens commun, sans quoi le physicien ne saurait comment le manier. » Il est bien vrai qu'il reste, de par le langage, un caractère plus ou moins réel, mais est-il bien sûr que c'est par ce fond réel, obscur, que le physicien contemporain leste le concept et fixe l'objet de sa recherche ? Ne prend-il pas plutôt le concept réaliste comme un prétexte à dialectique, comme une image de travail qu'on devra tôt ou tard effacer ? Par exemple quand le physicien parle du *spin* de l'électron, vise-t-il une rotation *réelle* ? Si nous faisons une enquête sur cette seule question, nous verrions les avis se partager et nous nous apercevriions que le partage se fait sur la distinction bien connue entre esprits intuitifs et esprits abstraits. Il est frappant d'ailleurs que les auteurs français aient gardé le mot *spin* en anglais comme s'ils voulaient laisser aux intuitifs la responsabilité de leur imagerie. C'est ainsi que M. Meyerson nous paraît ne toucher ici que le problème de l'imagination et ce n'est pas sans raison qu'il appuie son opinion sur un argument de Tyndall, un des Anglais les plus intuitionnistes qui soient.

Mais le problème épistémologique présent dépasse en réalité le cadre intuitif pour deux raisons complémentaires.

1^o D'abord il est bien sûr que la *rotation* est le simple prétexte du *spin*. La meilleure preuve, c'est qu'il est quantifié avec une très grande simplicité. S'il s'agissait d'une rotation réelle, conçue sur le type ultra-riche des rotations du monde usuel, il faudrait envisager des quanta plus nombreux et plus élevés. Ensuite, le *spin* trouve sa légitimation dans des compositions. Sur un électron isolé, il n'aurait point de sens. Le *spin* est donc *pensé*, non point *imaginé* ;

2^o D'ailleurs, au niveau même de l'imagination, la rotation de l'électron, comme l'électron lui-même, n'a pas de sens. Il ne faut pas oublier que nous *imaginons avec notre rétine* et non point à l'aide d'une faculté mystérieuse et toute-puissante. C'est un point que M. Jean Perrin a ingénieusement mis en lumière (1). Nous ne sommes pas capables de descendre par l'imagination plus bas que par la sensation. En vain accole-t-on un nombre à l'image d'un objet pour marquer la petitesse de cet objet : l'imagination ne suit pas la pente mathématique. Nous ne pouvons plus penser que mathématiquement ; du fait même de la défaillance de l'imagination sensible, nous passons donc sur le plan de la pensée pure où les objets n'ont de réalité que dans leurs relations. Voilà donc bien une borne humaine du réel imaginé, autrement dit, une limite à la *détermination* imagée du réel.

Ce n'est donc pas en nous appuyant sur le *noyau réaliste* du concept d'électron que nous pensons le microphénomène ; nous ne « manions » pas le microphénomène par ce noyau réaliste mais bien plutôt par l'atmosphère idéaliste qui l'entoure. L'opinion réaliste ne tient pas assez compte de la dualité de l'idée de substance que nous avons signalée, d'après Renouvier, dans notre introduction. Sur l'*objet* de la microphysique, plus peut-être qu'ailleurs, cette dualité est apparente. Marquons-la rapidement. Dans ses préparatifs expérimentaux, le physicien part bien du réel du sens commun comme l'indique M. Meyerson (2). En particulier le physicien *désigne* ses instru-

(1) Voir *L'orientation actuelle des sciences*, 1930, p. 25.

(2) MEYERSON, *loc. cit.*, p. 20, 21.

ments, comme il désigne sa table ; mais quand intervient la pensée expérimentale effective, le physicien fait volte-face. Le produit instrumental (électron, champ, courant, etc.) est alors inscrit comme sujet logique et non plus substantiel de la pensée théorique. S'il reste des traces substantielles, ce sont des traces à effacer ; elles marquent un réalisme naïf à résorber. Sans doute, M. Meyerson nous objectera que ce réalisme persistant, « cette hydre aux cent têtes, et qui ont une aptitude quasiment indestructible à repousser quand on croit les avoir tranchées » présente bien une des caractéristiques essentielles de la pensée humaine. Mais alors quelle étrange frénésie nous pousse à détruire sans cesse l'hydre renaissante ! Par quelle prescience de nos destins spirituels nous efforçons-nous de *sublimiser* nos notions réalistes ? Pourquoi avons-nous besoin de changer le réel de place ? La *fonction réaliste* devrait avoir plus que toute autre la stabilité ; l'explication substantialiste devrait garder la permanence. En fait, la fonction réaliste est de plus en plus mobile. Jamais la science n'avait eu un tel dédain des êtres qu'elle crée. Elle les abandonne à la moindre difficulté.

Dès lors, il nous semble que dans l'intervalle qui sépare l'évanouissement d'un objet scientifique et la constitution d'une nouvelle réalité, il y a place pour une pensée non réaliste, pour une pensée se faisant un appui de son mouvement. Instant éphémère, dirait-on, qui ne peut guère compter quand on le compare aux périodes de science acquise, assise, expliquée, enseignée. C'est pourtant là, sur ce bref instant de la découverte, qu'on doit saisir l'inflexion décisive de la pensée scientifique. C'est en restituant ces instants

dans l'enseignement qu'on constitue l'esprit scientifique dans son dynamisme et sa dialectique. C'est alors que se produisent les brusques contradictions expérimentales, les doutes sur l'évidence des axiomes, ces synthèses *a priori* qui, comme la synthèse géniale de M. Louis de Broglie, viennent doubler le réel, ces subites inversions de pensée dont le principe einsteinien d'équivalence est un des plus clairs exemples. Toute l'argumentation de M. Meyerson sur le caractère longtemps substantiel de la force vient se briser sur un semblable principe. Il suffit de se souvenir qu'un changement bien choisi du système de référence efface la gravitation pour voir le caractère fugace du réalisme de la force attractive.

Ainsi quelle que soit la durée des repos dans le réalisme, ce qui doit frapper c'est que toutes les révolutions fructueuses de la pensée scientifique sont des crises qui obligent à un reclassement profond du réalisme. De plus, ce n'est jamais la pensée réaliste qui provoque d'elle-même ses propres crises. L'impulsion révolutionnaire vient d'ailleurs : elle prend naissance dans le règne de l'abstrait. C'est dans le domaine mathématique que sont les sources de la pensée expérimentale contemporaine.

CHAPITRE VI

L'ÉPISTÉMOLOGIE NON-CARTÉSIENNE

I

UN des chimistes contemporains qui a mis en œuvre les méthodes scientifiques les plus minutieuses et les plus systématiques, M. Urbain, n'a pas hésité à nier la pérennité des méthodes les meilleures. Pour lui, il n'y a pas de méthode de recherche qui ne finisse par perdre sa fécondité première. Il arrive toujours une heure où l'on n'a plus intérêt à chercher le nouveau sur les traces de l'ancien, où l'esprit scientifique ne peut progresser qu'en créant des méthodes nouvelles. Les concepts scientifiques eux-mêmes peuvent perdre leur universalité. Comme le dit M. Jean Perrin « Tout concept finit par perdre son utilité, sa signification même, quand on s'écarte de plus en plus des conditions expérimentales où il a été formulé ». Les concepts et les méthodes, tout est fonction du domaine d'expérience ; toute la pensée scientifique doit changer devant une expérience nouvelle ; un discours sur la méthode scientifique sera toujours un discours de circonstance, il ne décrira pas une constitution définitive de l'esprit scientifique.

Cette mobilité des saines méthodes doit être inscrite à la base même de toute psychologie de l'esprit scientifique car l'esprit scientifique est strictement contemporain de la méthode explicitée. Il ne faut rien confier aux habitudes quand on observe. La méthode fait corps avec son application. Même sur le plan de la pensée pure, la réflexion sur la méthode doit rester active. Comme le dit très bien M. Dupréel (1) « une vérité démontrée demeure constamment soutenue non sur son évidence propre, mais sur sa démonstration ».

Nous en arrivons alors à nous demander si la psychologie de l'esprit scientifique n'est pas purement et simplement une *méthodologie consciente*. La véritable psychologie de l'esprit scientifique serait ainsi bien près d'être une psychologie normative, une pédagogie en rupture avec la connaissance usuelle. D'une manière plus positive, on saisira l'essence de la psychologie de l'esprit scientifique dans la réflexion par laquelle les *lois* découvertes dans l'expérience sont pensées sous forme de *règles* aptes à découvrir des faits nouveaux. C'est ainsi que les lois se coordonnent et que la déduction intervient dans les sciences inductives. Au fur et à mesure que les connaissances s'accumulent, elles tiennent moins de place, car il s'agit vraiment de connaissance scientifique et non d'érudition empirique, c'est toujours en tant que méthode confirmée qu'est pensée l'expérience. Ce caractère normatif est naturellement plus visible dans la psychologie du mathématicien qui ne pense réelle-

(1) DUPRÉEL, De la nécessité, *Archives de la Société belge de philosophie*, 1928, p. 13.

ment que le correct, en posant une différence psychologique fondamentale entre connaissance entrevue et connaissance prouvée. Mais on en sent l'intervention dans la conception essentiellement organique des phénomènes qui incruste la pensée logique dans le Monde. De toute manière, dans les essais expérimentaux, on commence par ce qu'on croit logique. Dès lors un échec expérimental, c'est tôt ou tard un changement de logique, un changement profond de la connaissance. Tout ce qui était emmagasiné dans la mémoire doit se réorganiser en même temps que la charpente mathématique de la science. Il y a endosmose de la psychologie mathématique et de la psychologie expérimentale. Peu à peu, l'expérience reçoit les dialectiques de la pensée mathématique ; l'évolution méthodologique joue exactement autour des articulations des divers thèmes mathématiques.

Y a-t-il cependant, d'un point de vue tout à fait général, des méthodes de pensée fondamentales qui échapperaient à l'usure dont parle M. Urbain ? Il ne le semble pas si l'on veut bien, pour en juger, se placer systématiquement sur le domaine de la recherche objective, dans cette zone où l'assimilation de l'irrationnel par la raison ne va pas sans une réorganisation réciproque du domaine rationnel. Ainsi, on a dit souvent que la pensée du laboratoire ne suivait nullement les prescriptions de Bacon ou de Stuart Mill. On peut, croyons-nous, aller plus loin et mettre en doute l'efficacité des conseils cartésiens.

II

On doit en effet se rendre compte que la base de la pensée objective chez Descartes est trop étroite pour expliquer les phénomènes physiques. La méthode cartésienne est *réductive*, elle n'est point *inductive*. Une telle réduction fausse l'analyse et entrave le développement extensif de la pensée objective. Or il n'y a pas de pensée objective, pas d'objectivation, sans cette extension. Comme nous le montrerons, la méthode cartésienne qui réussit si bien à *expliquer* le Monde, n'arrive pas à *compliquer* l'expérience, ce qui est la vraie fonction de la *recherche objective*.

De quel droit d'abord suppose-t-on la séparation initiale des natures simples ? Pour ne donner qu'un exemple d'autant plus décisif qu'il touche des entités plus générales, rappelons que la séparation de la figure et du mouvement est objectivement abusive dans le règne de la microphysique. C'est ce que souligne M. Louis de Broglie (1) : « Au début du développement de la science moderne, Descartes disait qu'on devait s'efforcer d'expliquer les phénomènes naturels par figures et par mouvements. Les relations d'incertitude expriment précisément qu'une telle description en toute rigueur est impossible puisqu'on ne peut jamais connaître à la fois la figure et le mouvement. » Ainsi les relations d'incertitude doivent être interprétées comme des obstacles à l'analyse absolue. Autrement dit, les notions de base doivent être saisies dans leurs relations exactement

(1) Louis de BROGLIE, *Théorie de la quantification dans la nouvelle mécanique*, p. 31.

de la même manière que les objets mathématiques doivent recevoir leur définition réelle dans leur liaison par un postulat. Les parallèles existent *après*, non pas *avant*, le postulat d'Euclide. La forme étendue de l'objet microphysique existe après, non pas avant, la méthode de détection géométrique. C'est toujours la même définition méthodologique qui prime : « Dis-moi comment l'on te cherche, je te dirai qui tu es. » D'une manière générale, le simple est toujours le simplifié ; il ne saurait être pensé correctement qu'en tant qu'il apparaît comme le produit d'un processus de simplification. Si l'on ne veut pas faire ce difficile renversement épistémologique, on méconnaît la direction exacte de la mathématisation de l'expérience.

A plusieurs reprises, au cours de ce petit livre, aussi bien à l'origine de l'optique qu'à la base de la mécanique, nous avons vu poindre l'idée de la complexité essentielle des phénomènes élémentaires de la microphysique contemporaine. Alors que la science d'inspiration cartésienne faisait très logiquement du complexe avec du simple, la pensée scientifique contemporaine essaie de lire le complexe réel sous l'apparence simple fournie par des phénomènes compensés ; elle s'efforce de trouver le pluralisme sous l'identité, d'imaginer des occasions de rompre l'identité par-delà l'expérience immédiate trop tôt résumée dans un aspect d'ensemble. Ces occasions ne se présentent point d'elles-mêmes, elles ne se trouvent pas à la surface de l'être, dans les modes, dans le pittoresque d'une nature désordonnée et chatoyante. Il faut aller les lire au sein de la substance, dans la texture des attributs. C'est une activité strictement noumé-

nale qui détermine la recherche du microphénomène. Quel effort de pensée pure, quelle foi dans le réalisme algébrique il a fallu pour associer le mouvement et l'étendue, l'espace et le temps, la matière et le rayonnement ! Alors que Descartes pouvait nier en même temps la diversité primitive de la matière et la diversité primitive des mouvements, voici qu'en associant simplement la matière fine et le mouvement rapide dans un choc, on a immédiatement des occasions de diversité fondamentale : des qualités, des couleurs, de la chaleur, des radiations diverses se créent sur les seuls degrés du choc quantifié. La matière n'est plus un simple obstacle qui renvoie le mouvement. Elle le transforme et se transforme. Plus le grain de matière est petit, plus il a de réalité substantielle ; en diminuant de volume, la matière s'approfondit.

Dès lors, pour bien juger de cette réalité fine, la pensée théorique a besoin, plus encore que la pensée expérimentale, de jugements synthétiques *a priori*. C'est pourquoi le phénomène de la microphysique doit être conçu de plus en plus organique, dans une coopération profonde des notions fondamentales. Nous l'avons vu, la tâche à laquelle s'efforce la physique contemporaine est la synthèse de la matière et du rayonnement. Cette synthèse physique est soutenue par la synthèse métaphysique de la chose et du mouvement. Elle correspond au jugement synthétique le plus difficile à formuler car ce jugement s'oppose violemment aux habitudes analytiques de l'expérience usuelle qui divise sans discussion la phénoménologie en deux domaines : le phénomène statique (la chose), le phénomène dynamique (le

mouvement). Il faut restituer au phénomène toutes ses solidarités et d'abord rompre avec notre concept de *repos* : en microphysique, il est absurde de supposer la matière au repos puisqu'elle n'existe pour nous que comme énergie et qu'elle ne nous envoie de message que par le rayonnement. Qu'est-ce alors qu'une *chose* qu'on n'examinerait jamais dans l'immobilité ? On devra donc saisir tous les éléments du calcul dans la germination du lieu et du mouvement, par l'algèbre des deux variables *conjuguées* relatives l'une à la place, l'autre à la vitesse. Sans doute l'union de ces deux variables est encore guidée par l'intuition usuelle ; on pourrait donc croire que c'est là une composition de deux notions simples. On sera moins confiant dans cette simplicité si l'on suit le progrès de la Physique mathématique sur ce point particulier. On ne tardera pas à reconnaître que les variables conjuguées se présentent d'une manière essentiellement indirecte et que le moment cinétique cesse bientôt de correspondre à l'intuition première. On tire en effet les paramètres qui déterminent les phénomènes d'une expression mathématique générale. On substitue donc à la description usuelle et concrète une description mathématique et abstraite. Cette description mathématique n'est pas claire par ses éléments, elle n'est claire que dans son achèvement. par une sorte de conscience de sa valeur synthétique.

Ainsi, en parlant d'une épistémologie non-cartésienne, ce n'est sur la condamnation des thèses de la physique cartésienne, ou même sur la condamnation du mécanisme dont l'esprit restait cartésien, que nous prétendons insister, mais bien sur une condamnation de la doctrine des natures simples et absolues. Avec le

nouvel esprit scientifique, c'est tout le problème de l'intuition qui se trouve bouleversé. En effet cette intuition ne saurait désormais être primitive, elle est précédée par une étude discursive qui réalise une sorte de dualité fondamentale. Toutes les notions de base peuvent en quelque manière être dédoublées ; elles peuvent être bordées par des notions complémentaires. Désormais toute intuition procédera d'un choix ; il y aura donc une sorte d'ambiguïté essentielle à la base de la description scientifique et le caractère immédiat de l'évidence cartésienne sera troublé. Non seulement Descartes croit à l'existence d'éléments absolus dans le monde objectif, mais encore il pense que ces éléments absolus sont connus dans leur totalité et directement. C'est à leur niveau que l'évidence est la plus claire. L'évidence y est entière précisément parce que les éléments simples sont indivisibles. On les voit tout entiers parce qu'on les voit séparés. De même que l'idée claire et distincte est totalement dégagée du doute, la nature de l'objet simple est totalement séparée des relations avec d'autres objets. Rien de plus anticartésien que la lente modification spirituelle qu'imposent les approximations successives de l'expérience, surtout quand les approximations plus poussées révèlent des richesses organiques méconnues par l'information première. C'est le cas, répétons-le, pour la conception einsteinienne dont la richesse et la valeur complexe font soudain apparaître la pauvreté de la conception newtonienne. C'est le cas aussi pour la mécanique ondulatoire de M. Louis de Broglie qui *complète* dans toute la force du terme la mécanique classique et la mécanique relativiste elle-même.

Mais supposons avec Descartes les éléments du

réel vraiment donnés dans leur intégrité ; peut-on du moins dire que la construction cartésienne qui les unit suive une forme réellement synthétique ? Il nous semble plutôt que l'inspiration cartésienne reste analytique dans cette construction même, car, pour Descartes, la construction ne reste claire que si elle s'accompagne d'une sorte de conscience de la destruction. En effet, on nous conseille de toujours relire le simple sous le multiple, de toujours dénombrer les éléments de la composition. Jamais une idée composée ne sera saisie dans sa valeur de synthèse. On n'aura jamais égard au réalisme de la composition, à la force de l'émergence. Loin d'accepter, par exemple, le complexe d'énergie, on ira, contre l'intuition sensible elle-même, jusqu'aux réductions ultimes de l'intuition intellectuelle. Ainsi on n'acceptera pas même comme primitif le caractère curviligne de la trajectoire. Le seul mouvement vrai sera le seul mouvement clair, le mouvement simple, rectiligne, uniforme. Le long du plan incliné, on ne supposera pas une variation continue de la vitesse parce que les vitesses doivent se présenter sous forme de natures séparées, comme les *éléments* simples et distincts d'une chute bien définie.

Qu'on mette alors une fois de plus en regard de cette épistémologie cartésienne l'idéal de complexité de la science contemporaine ; qu'on se rappelle les multiples réactions du nouvel esprit scientifique contre la pensée asyntaxique ! La science contemporaine se fonde sur une synthèse première ; elle réalise à sa base le complexe *géométrie-mécanique-électricité* ; elle s'expose dans l'espace-temps ; elle multiplie ses corps de postulats ; elle place la clarté dans la combinaison

épistémologique, non dans la méditation séparée des objets combinés. Autrement dit, elle substitue à la clarté en soi une sorte de clarté opératoire. Loin que ce soit l'être qui illustre la relation, c'est la relation qui illumine l'être.

Bien entendu le non-cartésianisme de l'épistémologie contemporaine ne saurait nous faire méconnaître l'importance de la pensée cartésienne, pas plus que le non-euclidisme ne peut nous faire méconnaître l'organisation de la pensée euclidienne. Mais ces exemples différents d'organisation doivent suggérer une organisation bien générale de la pensée avide de totalité. Le caractère de « complétude » doit passer d'une question de fait à une question de droit. Et c'est ici que la conscience de la totalité est obtenue par de tout autres procédés que les moyens mnémotechniques du dénombrement complet. Pour la science contemporaine, ce n'est pas la mémoire qui s'exerce dans le dénombrement des idées, c'est la raison. Il ne s'agit pas de recenser des richesses, mais d'actualiser une méthode d'enrichissement. Il faut sans cesse prendre conscience du caractère complet de la connaissance, guetter les occasions d'extension, poursuivre toutes les dialectiques. A propos d'un phénomène particulier, on veut être sûr d'avoir énuméré toutes les variables. Quand on veut ainsi dégager tous les degrés de liberté d'un système, c'est évidemment à la raison qu'on s'adresse, et non pas à l'expérience acquise, pour savoir si rien n'a été oublié. On appréhende des manques de perspicacité dans l'intuition première. On craint des *oublis de la raison* ; il va de soi qu'un physicien ou un mathématicien ne commet pas des *erreurs de mémoire*.

Quand on a ainsi parcouru cette perspective théorique, on peut conclure que la méthode de la preuve expérimentale ne voit dans le simple que le résultat d'une simplification, qu'un choix, qu'un exemple, autant de nuances qui présupposent une extension de pensée hors du fait unique, hors de l'idée unique, hors de l'axiome unique. La clarté d'une intuition est obtenue d'une manière discursive, par un éclaircissement progressif, en faisant fonctionner les notions, en variant les exemples. C'est encore un point que M. Dupréel a bien mis en lumière (1) : « Si un acte de mon esprit pose une vérité simple, un second acte est indispensable pour que je m'en rende compte. Il suffit de généraliser cette remarque pour dénoncer l'erreur de ceux qui croient que des vérités nécessaires et inconditionnelles, dûment tenues pour telles, peuvent être posées par un acte de pensée qui se suffit à lui-même, et en même temps servir à quelque usage. Un axiome étant posé il faut toujours un second acte pour en affirmer une application quelconque, c'est-à-dire pour reconnaître les circonstances où cet axiome peut être invoqué. Comment Descartes et tous les défenseurs de la nécessité en soi n'aperçoivent-ils pas que le moment décisif n'est pas celui où l'on fixe au mur un crochet, que l'on fait aussi solide qu'on veut, mais celui où l'on y accroche le premier anneau de la chaîne des déductions ? Quelque irréfutable que soit votre *cogito*, je vous attends au moment d'en conclure quelque chose. » On ne peut montrer plus nettement le caractère discursif de la clarté, la synonymie de l'évidence et de l'application variée. Quand

(1) DUPRÉEL, *loc. cit.*, p. 14.

on voudra mesurer la valeur épistémologique d'une idée fondamentale, c'est toujours du côté de l'induction et de la synthèse qu'il faudra se tourner. On verra alors l'importance du mouvement dialectique qui fait trouver des variations sous l'identique et qui éclaire vraiment la pensée première en la complétant.

III

Si l'on nous accorde un instant que les règles cartésiennes pour la direction de l'esprit ne correspondent plus aux multiples exigences de la recherche scientifique tant théorique qu'expérimentale, on ne manquera pas cependant de nous objecter que règles et conseils gardent sans doute une valeur pédagogique. Mais ici encore il nous faut insister sur la rupture entre le véritable esprit scientifique moderne et le simple esprit d'ordre et de classification. Il faut également bien distinguer l'esprit scientifique *régulier* qui anime le laboratoire de recherches et l'esprit scientifique *séculier* qui trouve ses disciples dans le monde des philosophes. Ainsi, s'il s'agit d'enseigner l'ordre dans les notes, la clarté dans l'exposé, la distinction dans les concepts, la sécurité dans les inventaires, nulle leçon n'est plus fructueuse que la leçon cartésienne. Elle suffit amplement à instruire cet esprit de méthode ponctuelle et objective qui donne à toute taxologie (historique et littéraire) le droit au ton dogmatique, dans le temps même où les sciences mathématiques et physiques s'expriment avec une prudence accrue. Au surplus, on ne conçoit

guère qu'un physicien fasse une faute contre les règles de Descartes. En réalité, aucune des rectifications qui marquent les grandes révolutions scientifiques de la Physique contemporaine ne résulte de la correction d'une erreur relative aux règles cartésiennes.

On sent bien d'ailleurs que ces règles n'ont plus, dans la culture moderne, aucune valeur dramatique. En fait, il n'y a pas un lecteur sur cent pour lequel le *Discours* soit un événement intellectuel personnel. Qu'on dépouille alors le *Discours* de son charme historique, qu'on oublie son ton si attachant d'abstraction innocente et première, et il apparaîtra au niveau du bon sens, comme une règle de vie intellectuelle dogmatique et paisible. Pour un physicien, ce sont là conseils qui vont de soi ; ils ne correspondent pas aux précautions multiples que réclame une mesure précise ; ils ne répondent pas à l'anxiété de la science contemporaine. Des vues aussi simples écarteraient plutôt tout recours aux paradoxes si utiles à susciter, même dans l'enseignement élémentaire. Ainsi, d'après l'expérience qu'a pu nous fournir l'enseignement élémentaire de la Physique et de la Philosophie, on ne réussit pas à intéresser de jeunes esprits à la méthode cartésienne. A cette crise réelle et utile de l'évolution intellectuelle humaine ne correspond plus une crise réelle de la culture intellectuelle.

Le doute cartésien lui-même qui devrait être le point de départ de toute pédagogie de la métaphysique n'est pas commode à enseigner. Comme le dit M. Walter Frost (1) : c'est une attitude vraiment trop

(1) Walter FROST, *Bacon und die Naturphilosophie*, Munich, 1927, p. 65.

solennelle — eine sehr feierliche Gebärde. Il est bien difficile d'y maintenir un jeune esprit assez longtemps pour qu'il en pénètre la valeur. La suspension du jugement avant la preuve scientifique objective — qui caractérise l'esprit scientifique — la conscience claire du sens axiomatique des principes mathématiques — qui caractérise l'esprit mathématique — correspondent à un doute moins général mais dont la fonction est, par cela même, plus nette et plus durable que le doute cartésien. Du point de vue psychologique ce doute préalable, inscrit au seuil même de toute recherche scientifique, est donc d'un usage renouvelé. Il constitue un trait essentiel et non plus provisoire de la structure de l'esprit scientifique.

IV

Mais il nous faut quitter ces généralités sur les méthodes et essayer de montrer sur quelques problèmes scientifiques précis les nouvelles relations épistémologiques des idées simples et des idées composées.

En réalité, il n'y a pas de phénomènes simples ; le phénomène est un tissu de relations. Il n'y a pas de *nature* simple, de substance simple ; la substance est une texture d'attributs. Il n'y a pas d'idée simple, parce qu'une idée simple, comme l'a bien vu M. Dupréel, doit être insérée, pour être comprise, dans un système complexe de pensées et d'expériences. L'application est complication. Les idées simples sont des hypothèses de travail, des concepts de travail, qui devront être révisés pour recevoir leur

juste rôle épistémologique. Les idées simples ne sont point la base définitive de la connaissance ; elles apparaîtront par la suite dans un tout autre aspect quand on les placera dans une perspective de simplification à partir des idées complètes. Rien de plus instructif pour saisir la dialectique du simple et du complet que de considérer les recherches expérimentales et théoriques sur la structure des spectres et la structure des atomes. On trouve là une mine quasi inépuisable de paradoxes épistémologiques. Par exemple, on peut dire qu'un atome qui possède plusieurs électrons est, par certains côtés, plus simple qu'un atome qui n'en possède qu'un seul, la totalité étant plus organique dans une organisation plus complexe. On peut voir aussi apparaître ce curieux concept de *dégénérescence* physico-mathématique qui replace le phénomène simple et dégénéré sous son vrai jour. Essayons donc de décrire ce retournement de la perspective épistémologique.

On sait que le premier spectre qu'on ait réussi à débrouiller fut le spectre de l'Hydrogène. C'est d'abord dans ce spectre qu'apparut le plus nettement le groupement des raies en série ; c'est aussi sur ce spectre que fut trouvée la première formule spectrale, celle de Balmer. En ce qui concerne l'atome d'Hydrogène lui-même, on arriva également à des conclusions qui présentaient cet atome comme d'une grande simplicité : il était constitué par un électron en révolution autour d'un proton. Ainsi, on prend comme point de départ une double affirmation de simplicité :

1^o La formule mathématique du spectre d'hydrogène est simple ;

2° La figure qui correspond à l'intuition première est simple.

On essaie ensuite de comprendre les atomes plus compliqués en partant des connaissances fournies par l'atome d'Hydrogène. Ces connaissances constituent donc une sorte de phénoménologie de travail. On suit bien ici l'idéal cartésien classique. Voyons au double point de vue mathématique et intuitif le progrès des formules et des images vers la complexité.

D'abord, en ce qui concerne les formules mathématiques, on s'aperçoit, qu'à un coefficient numérique près, on peut retrouver sur les spectres des autres éléments chimiques la formule de Balmer relative au spectre de l'hydrogène. Ce coefficient n'est autre que le carré du nombre atomique. Comme ce nombre atomique est l'unité dans le cas de l'hydrogène, on s'explique tout de suite qu'il n'ait pas été explicité dans la première formule de Balmer. Cette formule, étendue ainsi à tous les corps, connaît donc une ère de parfaite généralité : elle est la loi à la fois simple et générale des phénomènes spectraux.

A vrai dire, les progrès dans les mesures spectroscopiques conduisent à rectifier peu à peu les divers paramètres de la formule. Ces retouches troublent la belle simplicité de la mathématique première. Mais comme les rectifications par des adjonctions plus ou moins empiriques paraissent laisser aux diverses fonctions leur rôle respectif, on peut encore réserver l'allure en quelque sorte rationnelle de la formule. On croit ainsi rendre compte en détail des faits expérimentaux en les décrivant comme des *perturbations* autour d'une loi générale. La pensée scientifique reste longtemps à ce stade du complexe pris comme

synonyme de *perturbé* ; une telle pensée se développe en deux temps : effort pour déterminer une loi, étude moins anxieuse des perturbations à la loi. C'est là un trait fondamental qui caractérise toute une structure psychologique. En effet, cette dichotomie du clair et de l'inextricable, du légal et de l'irrégulier devient, sans grande discussion, la dichotomie du rationnel et de l'irrationnel. Elle dessine les bornes qui séparent le courage et la lassitude intellectuels. N'a-t-on pas assez travaillé quand on a dégagé les grandes lignes du phénomène ? Qu'importent les nuances, les détails, les fluctuations ? Ne suffit-il pas, pour les « comprendre » à partir de la loi, de les rejeter en marge de la loi ? Curieuse dialectique ! Curieux repos !

Mais si grande est la tentation de la clarté rapide qu'on s'acharne parfois à suivre un schéma théorique sans rapport avec le phénomène. Ainsi le vent étire longtemps sans l'arracher l'animal fabuleux dessiné dans le nuage par une intuition première, mais il suffit que notre rêverie s'interrompe pour que la forme entrevue apparaisse méconnaissable. A force de perturbations, il vient un temps où il est nécessaire de reprendre le dessin d'un phénomène complexe en suivant de nouveaux axes. C'est précisément ce qui arrivera dans la classification mathématique des termes spectroscopiques où les matrices apporteront un thème d'ordre beaucoup plus adéquat à la multiplicité des termes. Nous reviendrons dans un instant sur le caractère complexe de la mathématique atomique. Notons d'abord, à propos des « modèles » atomiques, la même évolution du problème de la complexité.

Ce qui se passe pour les formules mathématiques arrive aussi pour les images qui les illustrent. Là encore on retrouve la même hiérarchie primitive des trajectoires simples et des trajectoires perturbées. Mais comme de ce côté les mécomptes ne tardent guère puisque l'atome d'hélium — pourtant bien *simple* avec ses deux électrons et son noyau — soulève des difficultés insolubles, on dirigera les études vers les phénomènes spectroscopiques relatifs à certains éléments, soit normaux, soit ionisés ; on y cherchera le caractère *hydrogénoïde*. On retrouve ainsi dans le spectre de l'hélium ionisé, dans celui des métaux alcalins, dans celui des métaux alcalino-terreux ionisés, des formules du type de Balmer et l'on infère la même image fondamentale constituée par un noyau plus ou moins complexe autour duquel se déplace un électron isolé. Tous les phénomènes optiques de l'atome se rangent sous la dépendance presque exclusive de cet électron extérieur. Triomphe de la similitude des images fondamentales où la simplicité retrouvée désignerait une loi vraiment générale !

Mais voici la réaction du complexe : non seulement on a tort de rechercher plus ou moins artificiellement le caractère *hydrogénoïde* dans les phénomènes des autres éléments chimiques, mais on va être amené bientôt à cette conclusion que le caractère hydrogénoïde n'est pas vraiment un caractère simple, qu'il n'est pas plus simple dans l'hydrogène que dans un autre corps et même, bien au contraire, que sa pseudo-simplicité est plus trompeuse dans le cas de l'hydrogène que dans toute autre substance. On en tirera cette conséquence paradoxale que le caractère hydrogénoïde devra être étudié d'abord sur un corps qui

n'est pas l'hydrogène pour être bien compris dans le cas de l'hydrogène lui-même ; bref, il apparaîtra qu'on ne pourra bien dessiner le simple qu'après une étude approfondie du complexe.

En effet, tel qu'il se présente dans l'arithmétique quantique, on pourrait dire que l'atome d'hydrogène ne sait pas compter puisque sous la forme qui lui est attribuée par Bohr, l'atome d'hydrogène ne paraît pouvoir recevoir qu'un seul nombre quantique. Comme le dit très bien M. Léon Bloch (1) : « Le spectre de l'hydrogène n'est qu'un spectre alcalin *dégénéré*, c'est-à-dire un spectre où les éléments correspondant à des valeurs différentes de l se trouvent pratiquement confondus », l étant, comme on le sait, le nombre quantique azimutal qui est la trace d'une double périodicité nécessaire pour rendre compte des diverses séries spectrales des alcalins. On doit aller plus loin. Quand on aura affecté à l'électron optique d'un métal alcalin trois nombres quantiques, il faudra prévoir trois périodicités dans l'atome. « Il est intéressant, dit alors M. Léon Bloch, de rechercher si des traces de cette triple périodicité subsistent dans l'atome d'hydrogène lui-même, considéré comme un alcalin dégénéré. Nous devons nous attendre à rencontrer dans cette recherche des difficultés expérimentales très grandes. Déjà pour le lithium, le premier des alcalins proprement dits, la structure des doublets est si serrée qu'elle n'a pu être mise en évidence que sur certains termes. Pour l'hydrogène, la

(1) Léon BLOCH, Structures des spectres et structure des atomes, apud *Conférences d'Actualités scientifiques et industrielles*, 1929, p. 200 et 202.

structure des doublets doit être plus fine encore. Malgré cette difficulté, la puissance actuelle des spectroscopes interférentiels est si grande qu'elle a permis de manifester d'une façon certaine la structure fine des raies de la série de Balmer et, tout particulièrement, de la raie rouge $H\alpha$... La décomposition des raies de $H\ I$ et $He\ II$ en multiplets extrêmement serrés, qui sont construits sur le même type que les multiplets alcalins, montre qu'il n'y a pas de différence essentielle entre le spectre de l'hydrogène et les spectres hydrogénoïdes. » Et M. L. Bloch conclut en ces termes : « Nous voyons ainsi que le plus simple de tous les atomes est déjà un système compliqué. »

On peut nous objecter ici que si Pierre ressemble à Paul, Paul ressemble à Pierre et que l'assimilation de l'hydrogène aux métaux alcalins, du point de vue spectroscopique, est corrélative. Mais cette objection revient à méconnaître *le déplacement de l'image fondamentale*, déplacement qui entraîne une transformation complète de la phénoménologie de base. En réalité, si l'on suit le progrès exact de l'expérience, on doit arriver à cette conclusion : ce ne sont pas les métaux alcalins qui reçoivent l'image hydrogénoïde, mais bien plutôt l'hydrogène qui reçoit l'image alcalinoïde. Après le stade cartésien — terme d'un mouvement du simple au complexe — on disait que le spectre des alcalins est un spectre hydrogénoïde. Après le stade non-cartésien — terme d'un mouvement du complet vers le simplifié, de l'organique vers le dégénéré — on devrait dire que le spectre de l'hydrogène est un spectre alcalinoïde. Si l'on veut décrire en détail les phénomènes spectroscopiques, c'est le spectre le plus compliqué — ici le spectre des métaux

alcalins — qu'il faut montrer de prime abord. C'est ce spectre qui ouvre les yeux de l'expérimentateur sur la structure fine. Le dédoublement des raies de l'hydrogène, on ne le chercherait pas si l'on ne l'avait déjà trouvé dans les raies des alcalins.

Le même problème se posera, comme nous le montrerons dans un instant, à propos de la structure hyperfine du spectre de l'hydrogène. Il est bien sûr que ce n'est pas l'examen du spectre de l'hydrogène qui peut suggérer ces études de deuxième et de troisième approximations. Ce n'est pas la formule de Balmer appliquée à l'hydrogène qui réclame des compléments. Ce n'est pas davantage l'image de l'atome d'hydrogène dessinée par Bohr qui peut nous conduire à imaginer de nouvelles périodicités. Par exemple, si nous sommes conduits à assigner un moment de rotation au noyau, à l'électron de l'atome d'hydrogène, c'est parce que nous aurons assigné avec succès de tels moments aux corpuscules des atomes plus compliqués, partant plus organiques.

Non seulement du point de vue d'une mathématique constructive, non seulement dans le domaine de l'image intuitive, mais encore du point de vue strictement expérimental, l'atome d'hydrogène peut paraître rebelle à l'expérience du fait même qu'il approche davantage de la pauvreté objective. Il faut des moyens puissants et une précision redoublée pour distinguer les lois sur ce cas fruste. D'ailleurs les traits les plus apparents ne sont pas toujours les traits les plus caractéristiques ; il faut résister à un positivisme de premier examen. Si l'on manque à cette prudence, on risque de prendre une dégénérescence pour une essence.

Par conséquent, s'il est bien vrai qu'historiquement le spectre de l'hydrogène ait été le premier guide de la spectroscopie, ce même spectre est désormais loin de fournir la meilleure des bases d'élan pour l'induction. A la vérité, on *induit* la théorie des spectres alcalins à partir du spectre de l'hydrogène. On devrait donc *déduire* ensuite les phénomènes de l'hydrogène en s'appuyant sur les phénomènes alcalins. Mais on induit encore, on induit toujours et l'on découvre une nouvelle structure dans les phénomènes de départ, ou mieux encore, on *produit* cette nouvelle structure par des moyens puissants et artificiels.

Nous n'avons étudié le chassé-croisé du simple et du complexe que dans le passage du spectre de l'hydrogène aux spectres hydrogéoïdes. Bien entendu, si le schéma *hydrogène* n'est qu'un dessin provisoire, la connaissance plus complexe du schéma hydrogéoïde devra elle aussi révéler tôt ou tard son caractère factice et simplifié. En fait, les schèmes deviennent de plus en plus inopérants quand on va de la première à la huitième période du tableau de Mendéléeff. Déjà, des spectres comme ceux du bismuth et du plomb ne rappellent plus en rien les spectres hydrogéoïdes. Le spectre du fer est un message entièrement indéchiffrable avec la grille hydrogéoïde.

Pour pallier cet échec, va-t-on faire jouer l'idée d'une complexité inextricable, d'une irrationalité fondamentale du réel ? C'est mal connaître la mobilité et le courage de l'esprit scientifique contemporain que de supposer cette défaite. Mathématiquement et expérimentalement c'est dans l'étude des phénomènes complexes que la pensée scientifique

poursuit son instruction. Du côté mathématique, on peut en effet espérer que la mécanique ondulatoire fournira des moyens assez bien appropriés pour calculer *a priori* les termes spectraux dans le cas où les formules du type de Balmer sont inopérantes, même au prix des rectifications les plus nombreuses et les plus précises. Du côté expérimental, d'où la clarté viendra-t-elle ? De la structure hyperfine. De même que la structure fine, saisie à propos des spectres alcalins, a fait mieux comprendre la structure dégénérée du spectre de l'hydrogène, de même la structure hyperfine des spectres complexes comme celui du bismuth apportera de nouveaux schèmes pour la spectroscopie générale. « Tout se passe, dit M. Léon Bloch (1), comme si, au fur et à mesure des progrès acquis dans la finesse de l'analyse spectrale, toutes les raies réputées simples avaient tendance à se décomposer. La structure hyperfine, comme la structure fine, serait donc non pas une exception, mais la règle. » Nous ne saurions trop insister sur cette dernière déclaration. Elle marque à notre avis une véritable révolution copernicienne de l'empirisme. En effet, c'est l'idée même de perturbation qui paraît devoir être tôt ou tard éliminée. On ne devra plus parler de lois simples qui seraient perturbées, mais de lois complexes et organiques parfois touchées de certaines viscosités, de certains effacements. L'ancienne loi simple devient un simple exemple, une vérité mutilée, une image ébauchée, une esquisse copiée sur un tableau. On revient, certes, à ces exemples simplifiés, mais c'est toujours pour des fins pédagogiques, pour

(1) Léon BLOCH, *loc. cit.*, p. 207.

des raisons d'explication mineure, parce que le plan historique reste éducatif, suggestif, entraînant. Mais on paye cher cette facilité, comme toute facilité, cette confiance dans l'acquis, ce repos dans les systèmes. On risque de prendre l'échafaudage pour la charpente. Or la connaissance profonde est la connaissance achevée et c'est sur le domaine de l'ancienne perturbation, dans le fin dessin des approximations poussées, que la connaissance trouve, avec son couronnement, sa véritable structure. C'est là que se réalise l'équation du noumène et du phénomène et que le noumène révèle subitement ses impulsions techniques. Dès lors la dualité statique du rationnel et de l'irrationnel est supplantée par les dialectiques de la rationalisation active. La pensée achève l'expérience. Les exceptions sont effacées en quelque sorte par le sommet, par l'accumulation des accidents, en mettant la pleine mesure des attributs et des fonctions.

Cette primauté de la pensée complète sur l'expérience fine, comme elle apparaît nettement quand on revient vers l'expérience primitive ! Par exemple, après avoir reconnu dans l'effet Zeeman la séparation des raies spectrales sous l'action d'un champ magnétique, on se posera la question suivante : « Une pareille dissociation ne pourrait-elle exister à l'état latent, en l'absence du champ magnétique (1) ? » ce qui revient à décider des problèmes de structure réelle à partir de principes de possibilité, dans la confiance que toute *compossibilité* est la trace première, éminemment rationnelle, d'une réalité. On arrive ainsi à penser une sorte de structure *préalable*, de construction en *pro-*

(1) Léon BLOCH, *loc. cit.*, p. 207.

jets, de réel en *plans*, de moule rationnel pour la technique expérimentale.

Dans le même ordre d'idée, y aurait-il vraiment absurdité à demander comment joue la règle de Pauli dans le cas de l'hydrogène ? Éclaircissons cette question. La règle de Pauli est d'une application absolument générale. Elle nous apprend que deux électrons pris dans le même atome ne peuvent jamais avoir leurs quatre quanta identiques. Comment alors interpréter cette règle dans le cas de l'hydrogène qui ne possède qu'un électron ? On peut certes le faire dans le sens de la simplicité, en ne retenant en somme qu'une raison de quantification, en refusant l'enseignement de la règle de Pauli prise à la mesure des cas complexes. On aboutit précisément aux formules simplifiées, à une mutilation des possibilités expérimentales. Faudrait-il alors évoquer des électrons fantômes qui viendraient fournir les prétextes aux quantifications multiples ? On le voit, c'est toujours le même problème : comment bien compter avec un boulier incomplet, comment lire la loi des grands nombres sur des petits nombres, comment reconnaître la règle avec toutes ses exceptions sur un seul exemple qui est de toute évidence une exception ? D'une manière plus générale, en quoi le simple peut-il illustrer le complet ? Au seuil de la stœchiologie, voici l'hydrogène comme l'amphioxus au seuil des vertébrés. Il n'y a pas de doute, c'est avec l'hydrogène que la double matière électrique — positive et négative — se noue ou se dénoue. Dans quel sens faut-il démêler l'écheveau ? Pourquoi ne pas achever le nœud en épuisant la puissance de composition ? Est-ce que les fonctions ne deviennent pas plus claires dans leur

fonctionnement varié ? On connaîtra d'autant mieux les liens du réel qu'on en fera un tissu plus serré, qu'on multipliera les relations, les fonctions, les interactions. L'électron libre est moins instructif que l'électron lié, l'atome moins instructif que la molécule. Gardons-nous cependant de pousser trop loin la composition. Il faut rester dans la zone où la composition est organique pour bien comprendre l'équation du complexe et du complet.

Nous venons précisément d'entrer dans le siècle de la *molécule* après de longues années consacrées aux pensées atomistiques. Pour se convaincre de l'importance de cette ère nouvelle, il suffira de se reporter cent ans en arrière ; le caractère artificiel de l'ancien concept de *molécule* apparaîtra. A cette époque, les définitions qui prétendaient distinguer molécule et atome suivaient la distinction si évidemment artificielle des phénomènes physiques et des phénomènes chimiques. La molécule était définie comme le résultat de la désagrégation physique et l'atome comme le résultat de la désagrégation chimique de la molécule. Prise en sa composition, la molécule ne correspondait guère qu'à la juxtaposition des atomes ; toutes les fonctions chimiques appartenaient aux éléments, aux atomes. Suivant en cela la métaphysique réaliste, on croyait à la valeur explicative de l'attribution catégorique des propriétés aux substances élémentaires. Or peu à peu, on paraît hésiter à inscrire sans discussion les propriétés au compte du simple et l'idée vient que l'attribution pourrait bien être toujours relative au composé. Ne prenons qu'un exemple. Au sujet de la valence chimique, concept scientifique qui rationalisa plus ou moins la sourde idée substantia-

liste de l'affinité, on en vient à douter qu'elle puisse se préciser en dehors des compositions effectives. Comme le dit M. B. Cabrera (1), « la valence est quelque chose de plus complexe, dont l'origine est en rapport avec la stabilité des nouvelles configurations dynamiques des électrons superficiels produites à cause des perturbations mutuelles des atomes en contact. Il est évident que les détails de cette configuration et le degré de sa stabilité dépendront de la structure des atomes qui interviennent, de sorte que strictement parlant la valence n'est pas une propriété de chaque élément isolé, mais de l'ensemble des atomes liés ». Ainsi l'affinité dépend de la communion. Entrer en composition, c'est « composer ». Il n'y a pas d'originalité substantielle — pas plus que d'originalité psychologique — qui résiste à une association. Il est donc vain de poursuivre la connaissance du simple en soi, de l'être en soi, puisque c'est le composé et la relation qui suscitent les propriétés, c'est l'attribution qui éclaire l'attribut.

La thèse que nous défendons est d'ailleurs périlleuse, en ce sens qu'elle contredit la manière habituelle de désigner dogmatiquement les *notions de base*. Mais par certains côtés, l'idée même de notion de base peut sembler contradictoire : nos notions expérimentales, puisées dans l'expérience commune, ne doivent-elles pas être sans cesse révisées pour s'incorporer plus ou moins exactement dans la microphysique où l'on doit toujours *inférer* et non pas *découvrir* les bases

(1) CABRERA, Paramagnétisme et structure des atomes combinés, apud *Activation et structure des molécules*, 1928, p. 246.

du réel ? L'épistémologie non-cartésienne est donc par essence, et non par accident, en état de crise. Revenons un instant sur la définition moderne des éléments de pensée et démontrons une fois de plus que les notions initiales doivent être solidarisées dans une définition organique, attachées à des cas complexes.

Pour les savants du *xix^e* siècle aussi bien que pour Descartes, les bases rationnelles du mécanisme étaient inébranlables. Des notions même obscures comme la force faisaient l'objet d'une désignation immédiate. Ensuite c'est en multipliant l'intensité de la force par le déplacement de son point d'application qu'on définissait, d'une manière dérivée, le travail et l'énergie. Cette construction de la notion d'énergie correspondait bien à l'idéal analytique et cartésien qui dirigeait la science. Notons au passage que la séparation absolue de l'espace et du temps favorisait ici l'intuition analytique, encore que bien des problèmes philosophiques restaient imprécis, comme celui des différences entre la force conçue statiquement et la force conçue dynamiquement. En creusant cette difficulté, on s'apercevrait de l'obscurité de la première conception, on comprendrait mieux les confusions répétées des âges pré-scientifiques au sujet de l'expérience de la force, du travail, de l'énergie, de la puissance ; on trouverait enfin une première preuve que la notion de force ne peut guère être précise si on la sépare d'une fonction essentielle de la force qui est de produire un travail. En tout cas, si l'on accède à la pensée contemporaine, la corrélation essentielle des notions devient bien évidente. De plus en plus, s'impose la réciprocité entre la notion de force et la notion d'énergie. Quelle sera finalement la notion de base ? Il est naturelle-

ment prématuré de répondre à cette question. L'intervention des théories quantiques pourrait d'ailleurs clore le débat d'une étrange façon en apportant des principes tout nouveaux pour la définition mathématique des notions expérimentales. En effet, qu'on aille au fond de l'intuition si spéciale de London et Heitler en ce qui concerne les rapports possibles de deux atomes d'hydrogène et l'on verra la tendance de la micro-énergétique à définir la force comme une notion dérivée, comme une apparence secondaire, comme une sorte de convention représentant un cas particulier. Dans l'intuition de ces deux savants, on commence par définir énergétiquement les deux atomes sans bien entendu construire leur énergie à partir des forces plus ou moins hypothétiques. En appliquant ensuite à l'ensemble formé par les deux atomes le principe de Pauli, on se rend compte qu'ils peuvent exister sous deux formes énergétiques différentes. Alors si en rapprochant les noyaux atomiques, l'énergie du système augmente, on *dira* que les noyaux se repoussent ; on dira au contraire qu'ils s'attirent si l'énergie diminue. Ainsi des caractères qui semblaient éminemment phénoménaux comme la répulsion et l'attraction sont ici objets de définition. Rien d'absolu ne soutient l'idée de force, elle n'est point ici la notion primitive. Allons d'ailleurs plus loin. On s'apercevra que ne peuvent s'*attirer* que des atomes d'hydrogène différenciés d'après le principe de Pauli et que par contre le choc élastique, jadis expliqué par une force répulsive inscrite au cœur de l'élément, est un attribut de l'ensemble des deux atomes d'hydrogène non différenciés d'après le principe de Pauli. Il semble que ce qui s'attire ce soit des *systèmes de nombres quanti-*

ques différents et que ce qui se repousse ce soit des *systèmes de nombres quantiques identiques*. La force induite mathématiquement n'est plus ici que le fantôme de la force mise jadis à la base de l'énergie par une métaphysique réaliste. La force mécanique devient aussi métaphorique que la force d'une antipathie ou d'une sympathie ; elle est relative à une composition, non pas à des éléments. L'intuition mathématique avec son souci de la complétude remplace l'intuition expérimentale avec ses simplifications arbitraires.

En résumé, nous croyons que l'explication scientifique tend à accueillir, à sa base, des éléments complexes et à ne bâtir que sur des éléments conditionnels, en n'accordant qu'à titre provisoire, pour des fonctions bien spécifiées, le brevet de simplicité. Ce souci de garder *ouvert* le corps d'explication est caractéristique d'une psychologie scientifique réceptive. Toute composition phénoménale peut être une occasion de pensée récurrente qui revient compléter le corps des postulats. M. B. Cabrera écrivait précisément en 1928 (1) : « Nous ne sommes pas... en état de savoir si la Mécanique quantique créée pour interpréter la radiation des atomes isolés, suffit à éclaircir le problème beaucoup plus compliqué de la dynamique de la molécule. Il est possible, et nous le croyons très probable, qu'un nouveau postulat doive s'ajouter à ceux qui ont été le point de départ. Du moins, il faut que notre esprit reste ouvert à cette possibilité. » La même anxiété règne donc sur la Physique mathématique que sur la Géométrie : on craint toujours qu'un

(1) CABRERA, *loc. cit.*, p. 247.

postulat puisse subitement s'adjoindre à la science et la dédoubler. Garder une sorte de doute récurrent ouvert sur le *passé* de connaissances *certaines*, voilà encore une attitude qui dépasse, prolonge, amplifie la prudence cartésienne et qui mérite d'être dite non-cartésienne, toujours dans ce même sens où le non-cartésianisme est du cartésianisme complété.

D'une manière semblable, comme nous avons essayé de le montrer dans notre livre sur le *Pluralisme cohérent de la Chimie moderne*, c'est par un accroissement systématique du pluralisme que la Chimie a trouvé ses bases rationnelles et mathématiques. C'est en achevant le monde de la matière qu'on le rationalise.

Ainsi la pensée qui anime la Physique mathématique, comme celle qui anime les mathématiques pures, est une conscience de la totalité. D'où l'importance de la notion de groupe dans l'une et l'autre doctrines. Aucun repos pour la pensée tant qu'une raison d'ensemble n'a pas mis le sceau synthétique sur la construction. Henri Poincaré, dans une notice consacrée à Laguerre (1), a signalé le caractère non-cartésien de cette nouvelle orientation. Au moment où Laguerre produisait son premier travail, en 1853, la géométrie analytique « se renouvelait... par une révolution en quelque sorte inverse de la réforme cartésienne. Avant Descartes, le hasard seul, ou le génie, permettait de résoudre une question géométrique ; après Descartes, on a pour arriver au résultat des règles infaillibles ; pour être un géomètre il suffit d'être patient. Mais une méthode purement méca-

(1) POINCARÉ, *Savants et écrivains*, p. 86.

nique, qui ne demande à l'esprit d'invention aucun effort, ne peut être réellement féconde. Une nouvelle réforme était donc nécessaire : ce furent Poncelet et Chasles qui en furent les initiateurs. Grâce à eux, ce n'est plus ni à un hasard heureux ni à une longue patience que nous devons demander la solution d'un problème, mais à une connaissance approfondie des faits mathématiques et de leurs rapports intimes ». La méthode des Poncelet, des Chasles, des Laguerre est donc une méthode d'invention plutôt qu'une méthode de résolution. Elle est d'allure éminemment synthétique et remonte bien, comme le dit Poincaré, en sens inverse de la réforme cartésienne. Elle achève donc par certains côtés la pensée mathématique cartésienne.

V

Quand on a compris combien la pensée mathématique moderne dépasse la science primitive des mesures spatiales, combien s'est accrue la science des relations, on se rend compte que la Physique mathématique offre des axes chaque jour plus nombreux à l'objectivation scientifique. La nature stylisée du laboratoire préparée par les schèmes mathématiques doit alors apparaître moins opaque que la nature qui se présente à l'observation immédiate. Réciproquement, la pensée objective, dès qu'elle s'éduque devant une nature organique, se révèle d'une singulière profondeur par cela même que cette pensée est perfectible, rectifiable et qu'elle suggère des compléments. C'est encore en méditant l'objet que le sujet a le plus de chance de s'approfondir. Au lieu de suivre le métaphysicien qui

entre dans son poêle, on peut donc être tenté de suivre un mathématicien qui entre au laboratoire. Bientôt en effet on inscrira sur la porte du laboratoire de physique et de chimie l'avertissement platonicien : « Nul n'entre ici s'il n'est géomètre. »

Comparons par exemple l'observation du morceau de cire par Descartes et l'expérience de la goutte de cire dans la microphysique contemporaine et voyons la diversité des conséquences sur la métaphysique de la substance tant objective que subjective.

Pour Descartes, le morceau de cire est un clair symbole du caractère fugace des propriétés matérielles. Aucun des aspects d'ensemble, aucune des sensations immédiates ne demeurent permanents. Il suffit d'approcher le morceau de cire du feu pour que sa consistance, sa forme, sa couleur, son onctuosité, son odeur vacillent et se transforment. Cette expérience vague prouve chez Descartes le vague des qualités objectives. Elle est une école de doute. Elle tend à éloigner l'esprit de la connaissance expérimentale des corps qui sont plus difficiles à connaître que l'âme. Si l'entendement ne trouvait pas en lui-même la science de l'étendue, toute la substance du morceau de cire s'évanouirait avec les rêveries de l'imagination. Le morceau de cire n'est soutenu que par l'étendue *intelligible* puisque sa grandeur elle-même est susceptible d'augmenter ou de diminuer suivant les circonstances. Ce refus de l'expérience comme base de la pensée est en somme définitif, malgré le retour vers l'étude de l'étendue. On s'est interdit, dès le départ, toute expérience progressive, tout moyen de classer les aspects du divers, de donner une mesure de la diversité, d'immobiliser, pour les

distinguer, les variables du phénomène. On voulait, dans l'objet, toucher de prime abord la simplicité, l'unité, la constance. Au premier échec, on a douté de *tout*. On n'a pas remarqué le rôle coordonnateur de l'expérience factice, on n'a pas vu que la pensée unie à l'expérience pouvait restituer le caractère organique et par conséquent entier et complet du phénomène. D'autre part, en ne se soumettant pas docilement aux leçons de l'expérience, on se condamnait à ne pas voir que le caractère mobile de l'observation objective se reflétait immédiatement en une mobilité parallèle de l'expérience subjective. Si la cire change, je change ; je change avec ma sensation qui est, dans le moment où je la pense, toute ma pensée, car sentir c'est penser dans le large sens cartésien du *cogito*. Mais Descartes a une secrète confiance dans la réalité de l'âme comme substance. Ebloui par la lumière instantanée du *cogito*, il ne met pas en doute la permanence du *je* qui forme le sujet du *je pense*. Pourquoi est-ce le même être qui sent la cire dure et la cire molle alors que ce n'est pas la même cire qui est sentie dans deux expériences différentes ? Si le *cogito* était traduit au passif en un *cogitatur ergo est*, le sujet actif s'évaporerait-il avec l'inconstance et le vague des impressions ?

Cette partialité cartésienne en faveur de l'expérience subjective apparaîtra peut-être mieux quand on vivra avec plus de ferveur l'expérience scientifique objective, quand on acceptera de vivre à l'exacte mesure de la pensée, dans la rigoureuse équation de la pensée et de l'expérience, du noumène et du phénomène, loin de l'attrait trompeur des substances objectives et subjectives.

Voyons donc la science contemporaine dans sa tâche d'objectivation progressive. Le physicien ne prend point la cire qu'on vient d'apporter du rucher, mais une cire aussi pure que possible, chimiquement bien définie, isolée au terme d'une longue série de manipulations méthodiques. La cire choisie est donc en quelque sorte un *moment* précis de la méthode d'objectivation. Elle n'a rien retenu de l'odeur des fleurs dont elle a été recueillie, mais elle porte la preuve des soins qui l'ont épurée. Elle est pour ainsi dire réalisée par l'expérience factice. Sans l'expérience factice, une telle cire — sous sa forme pure qui n'est pas sa forme naturelle — ne serait pas venue à l'existence.

Après avoir fait fondre dans une cupule un très petit fragment de cette cire, le physicien le fait solidifier avec une lenteur méthodique. Fusion et solidification sont en effet obtenues sans brusquerie au moyen d'un four électrique minuscule dont la température peut être réglée avec toute la précision désirable par variation de l'intensité du courant. Le physicien se rend par conséquent *maître du temps* dont l'action efficace dépend de la variation thermique. On obtient ainsi une gouttelette bien régulière non seulement dans sa forme mais aussi dans sa texture superficielle. Le livre du microcosme est maintenant gravé, il reste à le lire.

Pour étudier la surface de la cire, on dirige sur la goutte un faisceau de rayons X bien monochromatiques, en suivant là encore une technique très précise et en laissant bien entendu de côté tout recours à la lumière blanche naturelle que les âges pré-scientifiques postulaient de nature simple. Grâce à la len-

teur du refroidissement, les molécules superficielles de la cire se sont orientées par rapport à la surface générale. Cette orientation détermine pour les rayons X des diffractions qui produiront des spectrogrammes similaires à ceux obtenus par Debye et par Bragg dans le cas des cristaux. On sait que ces derniers spectrogrammes, prévus par von Laue, ont renouvelé la cristallographie en permettant d'inférer la structure interne des cristaux. D'une manière parallèle, l'étude de la goutte de cire renouvelle nos connaissances des surfaces matérielles. Que de pensées doit nous livrer cette prodigieuse épigraphie de la matière ! Comme le dit M. Jean Trillat (1) : « Les phénomènes d'orientation... conditionnent un nombre immense de propriétés superficielles, comme la capillarité, l'onctuosité, l'adhérence, l'adsorption, la catalyse. » C'est dans cette pellicule que les relations avec l'extérieur déterminent une physico-chimie nouvelle. C'est là que le métaphysicien pourrait comprendre le mieux comment la relation détermine la structure. Si l'on prend des diagrammes en s'enfonçant de plus en plus dans les profondeurs de la gouttelette, l'orientation des molécules disparaît progressivement, les microcristaux deviennent insensibles aux actions de surface et l'on arrive à un désordre statistique complet. Dans la zone d'orientation privilégiée, on a au contraire des phénomènes bien définis. Ces phénomènes sont dus aux discontinuités des champs moléculaires à la surface de séparation des deux milieux, dans l'aire de la dialectique.

(1) TRILLAT, Etude au moyen des rayons X des phénomènes d'orientation moléculaire dans les composés organiques, *apud Activation et structures de molécules*, 1928, p. 461.

tique matérielle. Dans cette région intermédiaire, d'étranges expériences sont possibles qui viennent combler l'hiatus des phénomènes physiques et des phénomènes chimiques et permettre au physicien d'agir sur la *nature chimique* des substances. Ainsi M. Trillat signale des expériences sur l'étirement des gels colloïdaux. Par des tractions toutes mécaniques, on détermine des différences très notables dans les diagrammes des rayons X. M. Trillat conclut en ces termes (*loc. cit.*, p. 456) : « Ceci est en rapport avec les propriétés mécaniques et aussi avec l'adsorption des colorants, suivant que la matière est orientée par traction ou non : il y a peut-être là une manière imprévue d'agir sur l'activité chimique. »

Agir mécaniquement sur l'activité chimique, c'est, par certains côtés, servir un idéal cartésien ; mais l'action constructive et factice est si manifeste, la direction vers le complexe si nette, qu'on doit voir là une nouvelle preuve de l'extension scientifique de l'expérience et une nouvelle occasion de dialectique non-cartésienne.

Est-on d'ailleurs bien sûr que la cristallisation puisse se faire en l'absence des champs directeurs ? En imaginant que cette cristallisation est produite par des forces essentiellement internes, d'origine substantielle, en négligeant les actions directrices venant de l'extérieur, on obéit à un entraînement réaliste. Il est frappant en effet de voir la cristallisation superficielle sous la dépendance primordiale des discontinuités au point qu'on puisse parler de substances qui sont cristallisées superficiellement dans le sens perpendiculaire à la surface tandis qu'elles restent amorphes dans le sens parallèle à la surface.

On obtient ainsi des structures en gazon, avec des implantations bien spécifiées. Ces « cultures » cristallines d'un nouveau genre ont déjà fourni de nombreux enseignements sur les structures moléculaires (1).

Qu'on veuille bien alors prendre une mesure de la somme des techniques, des hypothèses, des constructions mathématiques qui viennent s'additionner dans ces expériences sur la goutte de cire et l'on ne pourra manquer de trouver inopérantes les critiques métaphysiques du type cartésien. Ce qui est fugace, cela ne peut être que les circonstances décousues et non point les relations coordonnées qui expriment des qualités matérielles. Il suffira de débrouiller les circonstances, qui sont *naturellement* brouillées, pour organiser vraiment le réel. Les qualités du réel scientifique sont ainsi, au premier chef, des fonctions de nos méthodes rationnelles. Pour constituer un fait scientifique défini, il faut mettre en œuvre une technique cohérente. L'action scientifique est par essence complexe. C'est du côté des vérités factices et complexes et non pas du côté des vérités adventices et claires que se développe l'empirisme actif de la science. Bien entendu des vérités innées ne sauraient intervenir dans la science. Il faut former la raison de la même manière qu'il faut former l'expérience.

Ainsi la méditation objective poursuivie au laboratoire nous engage dans une objectivation progressive où se réalisent à la fois une expérience nouvelle et une pensée nouvelle. Elle diffère de la méditation subjek-

(1) Voir Jean THIBAUD, Etudes aux rayons X du polymorphisme des acides gras, apud *Activation et structure des molécules*, p. 410 et suiv.

tive, avide d'une somme de connaissances claires et définitives, par son progrès même, par le besoin de complément qu'elle suppose toujours. Le savant en sort avec un programme et conclut sa journée de travail sur cette parole de foi, chaque jour répétée : « Demain, je saurai. »

VI

Si l'on pose maintenant le problème de la nouveauté scientifique sur le plan plus proprement psychologique, on ne peut manquer de voir que cette allure révolutionnaire de la science contemporaine doit réagir profondément sur la structure de l'esprit. L'esprit a une structure variable dès l'instant où la connaissance a une histoire. En effet, l'histoire humaine peut bien, dans ses passions, dans ses préjugés, dans tout ce qui relève des impulsions immédiates, être un éternel recommencement ; mais il y a des pensées qui ne recommencent pas ; ce sont les pensées qui ont été rectifiées, élargies, complétées. Elles ne retournent pas à leur aire restreinte ou chancelante. Or l'esprit scientifique est essentiellement une rectification du savoir, un élargissement des cadres de la connaissance. Il juge son passé historique en le condamnant. Sa structure est la conscience de ses fautes historiques. Scientifiquement, on pense le vrai comme rectification historique d'une longue erreur, on pense l'expérience comme rectification de l'illusion commune et première. Toute la vie intellectuelle de la science joue dialectiquement sur cette différentielle de la connaissance, à la frontière de

l'inconnu. L'essence même de la réflexion, c'est de comprendre qu'on n'avait pas compris. Les pensées non-baconiennes, non-euclidiennes, non-cartésiennes sont résumées dans ces dialectiques historiques que présentent la rectification d'une erreur, l'extension d'un système, le complément d'une pensée.

Il ne manque qu'un peu de vie sociale, qu'un peu de sympathie humaine pour que le nouvel esprit scientifique — le n. e. s. — prenne la même valeur formative qu'une nouvelle économie politique — la n. e. p. Pour beaucoup de savants qui poursuivent avec passion la vie sans passions, l'intérêt des problèmes présents correspond à un intérêt spirituel primordial où la raison joue son destin. M. Reichenbach parle justement d'un conflit de générations sur le sens profond de la science (1). Compton, lors d'une visite chez J. J. Thomson à Cambridge, a rencontré G. P. Thomson, venu pour un week-end. On s'amusait à examiner les photographies obtenues avec les ondes électroniques ; Compton fait remarquer à ce sujet : « C'était un véritable événement dramatique de voir le grand vieil homme de science, qui a dépensé ses meilleures années en affirmant la nature corpusculaire de l'électron, plein d'enthousiasme pour l'œuvre de son fils révélant que les électrons en mouvement constituent des ondes (2). » Du père au fils on peut mesurer la révolution philosophique que réclame l'abandon de l'électron comme chose ; on peut apprécier le courage intellectuel nécessaire à une telle révision du réalisme.

(1) REICHENBACH, *loc. cit.*, p. 23-24.

(2) *Scient. Mont.* 28, 1929, p. 301. Cité par HALSSINSKY, *loc. cit.*, p. 348.

Le physicien a été obligé trois ou quatre fois depuis vingt ans de reconstruire sa raison et intellectuellement parlant de se refaire une vie.

Il suffit d'ailleurs de réaliser psychologiquement l'état d'inachèvement de la science contemporaine pour avoir une impression intime de ce qu'est le *rationalisme ouvert*. C'est un état de surprise effective devant les suggestions de la pensée théorique. Comme le dit très bien M. Juvet (1) : « C'est dans la surprise créée par une nouvelle image ou par une nouvelle association d'images, qu'il faut voir le plus important élément du progrès des sciences physiques, puisque c'est l'étonnement qui excite la logique, toujours assez froide, et qui l'oblige à établir de nouvelles coordinations, mais la cause même de ce progrès, la raison même de la surprise, il faut la chercher au sein des champs de forces créés dans l'imagination par les nouvelles associations d'images, dont la puissance mesure le bonheur du savant qui a su les assembler. »

Devant les principes surprenants de la nouvelle mécanique quantique, M. E. Meyerson lui-même, qui a dépensé des trésors de méditation et d'érudition pour prouver le caractère classique de la Relativité, est pris d'une soudaine hésitation. On peut douter qu'on écrive jamais une *Déduction quantique* pour achever la démonstration entreprise dans la *Déduction relativiste*. « Reconnaissons..., écrit-il (2), que par rapport à toutes les théories scientifiques que nous avons examinées dans nos livres, celle des quanta occupe une

(1) JUVET, *loc. cit.*, p. 105.

(2) E. MEYERSON, *Le cheminement de la pensée*, t. I, p. 67.

place à part, et qu'il ne nous semble pas possible, notamment, de tenter dans ce cas ce que nous croyons avoir réussi à accomplir pour la théorie de la relativité. » Pour M. Meyerson, la doctrine des Quanta est d'essence aberrante et cette arithmétisation du possible n'est pas loin d'être tenue pour irrationnelle. Nous croyons au contraire que cette doctrine étend positivement notre conception du réel et qu'elle est une conquête de la raison nouvelle sur l'irrationalisme. Cette crise est donc une crise de croissance normale. Il faut préparer l'esprit à recevoir l'idée quantique, ce qui ne peut se faire qu'en organisant systématiquement l'élargissement de l'esprit scientifique.

En fait, nous croyons, pour notre part, que la Relativité avait déjà réalisé la conquête d'une pensée éminemment inductive et que les réussites pédagogiques dans la démonstration déductive de certaines conséquences relativistes n'enlèvent rien du caractère génial et inattendu de la Révolution einsteinienne. Les coups de génie qui viennent de fonder la mécanique ondulatoire de Louis de Broglie et la mécanique des matrices de Heisenberg ont retenti dans les mêmes conditions d'inattendu et pour ainsi dire sans préparation historique. Elles rejettent au passé les mécaniques classiques et relativistes qui l'une et l'autre ne sont plus que des approximations plus ou moins grossières de théories plus fines et plus complètes.

Est-ce qu'une raison générale et immuable arrivera à assimiler toutes ces pensées étonnantes ? Pourra-t-elle les mettre non seulement en ordre, mais sous son ordre ? C'est là sans doute l'espérance profonde de M. Meyerson. Comme M. Meyerson prouve la persistance des modes de pensée à travers les siècles,

retrouvant, même dans les esprits modernes, des traces durables de la pensée par participation des primitifs, il en infère que le cerveau ne saurait évoluer avec plus de rapidité que n'importe quel autre organe. Cette thèse meyerssonienne est évidemment la thèse de la prudence et l'on ne saurait lui opposer que des anticipations plus ou moins téméraires. Pourtant le cerveau n'est-il pas le véritable lieu de l'évolution humaine, le bourgeon terminal de l'élan vital ? Avec ses multiples connexions en attente, n'est-il pas l'organe des possibilités innombrables ? Quand M. Juvet emploie l'expression si suggestive de *champs de forces* créés dans l'imagination par le rapprochement de deux images différentes, ne nous engage-t-il pas à dynamiser en quelque sorte les rapports des idées, à donner à l'idée-force de Fouillée un sens de plus en plus physique ? Une idée qui évolue est un centre organique qui s'agglomère. Un cerveau statique ne pourrait inférer. Doit-on s'appuyer pour prouver la permanence cérébrale sur la pensée usuelle, sur la pensée sans effort, sur la pensée qui, en commandant à des muscles, accepte l'union avec ce qui n'évolue plus ? Alors tout est achevé : l'âme, le corps, le Monde lui-même qui nous est livré de prime abord comme un objet à grands et nobles traits. Au contraire, au lieu de cette communion avec une réalité globale à laquelle le savant reviendrait avec allégresse, comme à une philosophie originelle, ne conviendrait-il pas, pour comprendre l'évolution intellectuelle, de prêter attention à la pensée anxieuse, à la pensée en quête d'objet, à la pensée qui cherche des occasions dialectiques de sortir d'elle-même, de rompre ses propres cadres, bref à la pensée en voie

d'objectivation ? On ne peut alors manquer de conclure qu'une telle pensée est créatrice.

La poussée psychologique réalisée par la Physique mathématique est mise en évidence par M. Juvet. Il insiste sur le fait que les idées les plus hardies et les plus fécondes sont dues à de très jeunes savants (1). « Heisenberg et son émule Jordan sont nés avec le siècle ; en Angleterre, un étonnant génie... Dirac, créa une méthode originale et nouvelle et découvrit les raisons théoriques profondes de ce qu'on appelle le spin de l'électron ; il n'avait pas vingt-cinq ans. Si l'on rappelle que Bohr était très jeune lorsqu'il proposa en 1913 son modèle d'atome et qu'Einstein découvrit à vingt-cinq ans la relativité restreinte et proposa peu après, pour la première fois, une explication des lois du rayonnement par les quanta de lumière... on sera fondé à croire que le *xx^e* siècle a vu une mutation du cerveau ou de l'esprit de l'homme, particulièrement apte à débrouiller les lois de la nature, de même qu'au siècle précédent, la précocité des Abel, des Jacobi, des Galois, des Hermite était due peut-être à une mutation de l'esprit dirigé vers une adaptation au monde des êtres mathématiques.

Chacun peut d'ailleurs revivre ces mutations spirituelles en se rappelant le trouble et l'émoi apportés par les nouvelles doctrines dans la culture personnelle : elles réclament tant d'efforts qu'elles ne paraissent point naturelles. Mais la nature naturante est à l'œuvre jusque dans nos âmes ; un jour, on s'aperçoit qu'on a compris. A quelle lumière reconnaît-on d'abord la valeur de ces synthèses subites ? A une

(1) JUVET, *loc. cit.*, p. 134.

clarté indicible qui met en notre raison sécurité et bonheur. Ce bonheur intellectuel est la marque première du progrès. C'est ici le cas de rappeler avec le phénoménologiste Jean Hering (1) « que la personne la plus évoluée sera toujours, par la plus grande étendue de son horizon, à même de comprendre celles qui lui sont inférieures..., tandis que le contraire n'est pas possible ». La compréhension a un axe dynamique, c'est un élan spirituel, c'est un élan vital. La mécanique einsteinienne ajoute à la compréhension des concepts newtoniens. La mécanique broglienne ajoute à la compréhension des concepts purement mécaniques et purement optiques. Entre ces deux derniers groupes de concepts, la physique nouvelle détermine une synthèse qui développe et achève l'épistémologie cartésienne. Si l'on savait doubler la culture objective par une culture psychologique, en s'absorbant entièrement dans la recherche scientifique avec toutes les forces de la vie, on sentirait la soudaine animation que donnent à l'âme les synthèses créatrices de la Physique mathématique.

(1) J. HERING, *Phénoménologie et philosophie religieuses*, Strasbourg, 1925, p. 126.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION. — <i>La complexité essentielle de la philosophie scientifique.</i> — Plan de l'ouvrage	5
CHAPITRE PREMIER. <i>Les dilemmes de la philosophie géométrique</i>	23
II. <i>La mécanique non-newtonienne</i>	45
— III. <i>Matière et rayonnement</i>	63
— IV. <i>Ondes et corpuscules</i>	87
— V. <i>Déterminisme et indéterminisme.</i> — <i>La notion d'objet</i>	103
— VI. <i>L'épistémologie non-cartésienne</i>	139